



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Metabolismo Social: Hacia la sustentabilidad de las transiciones socioecológicas urbanas

Juan David Reina Roza

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Económicas
Instituto de Estudios Ambientales
Bogotá D.C, Colombia
2013

Metabolismo Social: Hacia la sustentabilidad de las transiciones socioecológicas urbanas.

Juan David Reina Rozo
0890519

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Medio Ambiente y Desarrollo

Directora:
Ph.D Stefania Gallini

Línea de Investigación:
Historia Ambiental

Grupo de Investigación:
Historia, Ambiente y Política

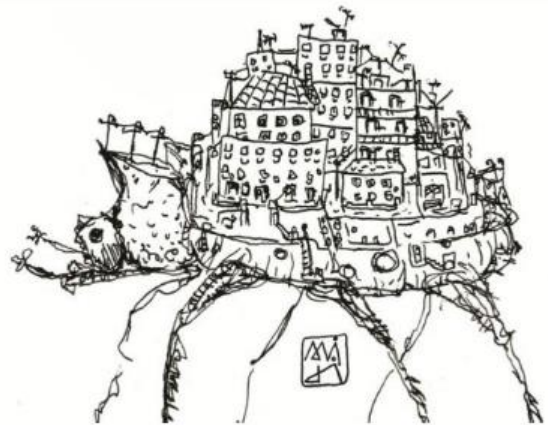
Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Económicas
Instituto de Estudios Ambientales
Bogotá D.C, Colombia
2013

Agradecimientos

Agradezco fundamentalmente a mi madre Luz Amparo Rozo y mi abuela Rosa Elena Segura, que sin su ejemplo de vida, no hubiera logrado esta meta. De la misma forma a Viviana, Alejandra y Vanesa Reina, compañeras de pasos, caminos y vida, por su apoyo. Así como a cada una de las personas que escucharon de mí esta propuesta de tesis, en Barcelona, Madrid, Toulon, Paris, Londres y contribuyeron con su realización. A la línea de investigación en Historia Ambiental y su directora, la profesora Stefania Gallini por acompañarme en esta indagación.

Agradezco a la Universidad Nacional de Colombia, al Instituto de Estudios Ambientales y la División de Investigación de la Sede Bogotá, por el apoyo y la Beca de apoyo a tesis de posgrado que me fue concedida con el número del proyecto, proyecto número 16423. A la Universidad de Barcelona (Cataluña), por permitirme desarrollar esta investigación en sus instalaciones, bibliotecas y laboratorios. De mismo modo al Archivo de Bogotá y Archivo General de la Nación por brindarme información para la realización de esta investigación. Agradezco al proyecto de investigación “Sustainable Farm System: Long-term socio-ecological metabolism in western agriculture” patrocinado por el Consejo de Ciencias Sociales de Canadá por apoyarme durante la realización de este estudio.

Finalmente, agradezco a Antimidi¹, por la imagen de la portada usada bajo licencia Creative Commons 3.0



¹ <http://www.antimidi.blogspot.com.es/>

Resumen

El metabolismo socio-ecológico de las relaciones entre grupos sociales y el entorno natural a nivel local, es la perspectiva teórica que se aborda en este estudio. Partiendo de un recuento histórico del desarrollo de esta novedosa visión de la sustentabilidad se genera una discusión teórica en torno a ella. A continuación, el estudio se centra sobre los sistemas socio-ecológicos urbanos, los cuales se plantean como sistemas híbridos que transforman su metabolismo de acuerdo a sus dinámicas e interrelaciones propias, se analizan los cerca de 90 estudios que se han realizado a nivel mundial sobre esta temática, a escala local, municipal y regional. En seguida, se describe desde una perspectiva ambiental, la co-evolución histórica de los cerros orientales de Bogotá, como símbolo, proveedora de materiales y espacio para el asentamiento de la población bogotana. Finalmente, se realiza el perfil metabólico de los sistemas extractivos de los cerros nororientales para el año de 1976, mediante el uso del análisis del flujo de materiales y energía, dando como resultado la extracción de 1'485.000 metros cúbicos de agregados pétreos y la transformación energética de 144,97 GBTU en forma de calor desprendido o 153.016,33 GJ de energía transformada.

Palabras clave:

Metabolismo Socio-ecológico, Historia ambiental, Economía ecológica,
Perfil metabólico, Borde urbano

Abstract

The socio- ecological metabolism of relations between social groups and the natural environment at local level is the theoretical perspective addressed in this study. From a historical account of the development of this new vision of sustainability is generated a theoretical discussion around it. Next, the study focuses on urban social-ecological systems, which are proposed as hybrid systems that transform the metabolism according

to their own dynamics and interrelationships, are analyzed about 90 studies have been conducted worldwide on this issue at the local, municipal and regional levels. In this sense, are described from an environmental perspective the historical coevolution the eastern hills of Bogota, as a symbol, a supplier of materials and place for Bogotas population settlement. Finally, we performed the metabolic profile of extractive systems northeastern hills for the year 1976, by using material flow analysis and Energy, resulting in the removal of 1'485.000 meters cubic of stone aggregates and 144,97 GBTU transformation of energy as heat evolved or 153,016.33 GJ transformed energy.

Keywords:

Socio-ecological Metabolism. Environmental History, Ecological Economics, Metabolic profile, Urban edge.



FIRMA DEL DIRECTOR: _____

Phd. Stefania Gallini

Profesora Asociada



AUTOR: _____

Ing. Juan David Reina Rozo

Contenido

	Pág.
Resumen	VII
Lista de figuras.....	XI
Lista de tablas	XII
Lista de ilustraciones.....	XIII
Lista de cuadros.....	XIV
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XV
Introducción.....	1
1. Un reciente enfoque para indagar las interrelaciones Sociedad-Naturaleza:	
Metabolismo Socio-Ecológico.....	7
1.1 La emergencia de un enfoque integrador.....	7
1.2 Metabolismo Socio-Ecológico Urbano: Construcción necesaria.....	10
1.2.1 Tradiciones teóricas que constituyen el Metabolismo Socio-Ecológico	11
1.2.2 Hacia una comprensión de los procesos metabólicos en un contexto rural-urbano.....	20
1.3 Nuevos retos y responsabilidades para Iberoamérica.....	24
1.4 Aspectos Metodológicos para el presente estudio	26
2. El metabolismo Socio-ecológico como herramienta teórica y metodológica para el análisis de la sustentabilidad de sistemas rural-urbanos.....	29
2.1 Bogotá y sus flujos metabólicos.....	29
2.2 El interés por el análisis del Metabolismo Urbano	33
2.2.1 Metodologías	35
2.2.2 Aplicaciones.....	37
2.2.3 Producción mundial de estudios de Metabolismo Urbano	42
2.3 Los indicadores de Sustentabilidad y el futuro del estudio del MSEU	43
3. Los cerros nororientales de Bogotá como escenario de transiciones socio-metabólicas 45	
3.1 Características de la zona de Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá – Usaquén.....	45
3.1.1 Delimitación de la zona de reserva forestal protectora	46

3.1.2	Caracterización ambiental	47
3.1.3	Usos del suelo	49
3.2	Notas para la historia ambiental de los Cerros Orientales de Bogotá.	54
3.2.1	Visión cultural-simbólica	55
3.2.2	Visión de proveedor de recursos materiales y energéticos	59
3.2.3	Visión de asentamiento de vivienda, infraestructura e industrias	66
4.	Metabolismo Socio Ecológico Urbano de los cerros nororientales de Bogotá - Usaquén. 73	
4.1	Desarrollo histórico de las explotaciones extractivas en Bogotá	73
4.2	Síntesis Geológica de Usaquén y características de las explotaciones	78
4.2.1	Geología de la zona de Usaquén.....	79
4.2.2	Características de las explotaciones.....	80
4.2.3	Usaquén	87
4.3	Análisis de flujo de materiales de las actividades extractivas en el año de 1976 en la zona nororiental de Bogotá.	90
4.3.1	Perfil metabólico de las explotaciones en la zona Nororiental de Bogotá en 1976 92	
5.	Conclusiones y recomendaciones	105
5.1	Conclusiones.....	105
5.2	Recomendaciones.....	113
A.	Anexos: Anexos Cartográficos.....	115
A)	Los cerros orientales en el territorio	115
B)	Actividades Mineras.....	116
C)	Isotermas.....	117
D)	Isoyetas	118
E)	Geología	119
F)	Uso del suelo en los cerros orientales para el año 1999	120
G)	Desarrollo urbano zona oriental	121
H)	Explotaciones ubicadas en Usaquén (1930)	123
I)	Explotaciones ubicadas en Usaquén (1940)	124
	Bibliografía	127

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Localización de la Reserva Forestal Protectora del Bosque Oriental de Bogotá.	2
Figura 2. Localización cerros orientales de la localidad de Usaquén, Bogotá.	3
Figura 3 Modelo extendido del metabolismo de asentamientos humanos	23
Figura 4 Procesos Metabólicos en tres dimensiones del metabolismo social	23
Figura 5 Los cinco procesos del metabolismo social	25
Figura 6 Estudios de Metabolismo Urbano a nivel regional, municipal y local.....	38
Figura 7 Estudios de Metabolismo Urbano por continente.....	43
Figura 8. Servicios ecosistémicos de la RFPBOB	51
Figura 9. Expansión urbana de Bogotá 1900-1993.....	68
Figura 10. Evolución del consumo de derivados pétreos para vivienda privada 1950 - 1970.	75
Figura 11. Proceso productivo de las canteras en Bogotá en 1991	84
Figura 12. Evolución de la población de Usaquén entre 1938 y 2013.....	88
Figura 13. Participación en la producción anual de derivados pétreos por tipo de empresa en 1977	91
Figura 14. Número de explotaciones en la zona Nororiental de Bogotá en porcentaje	93
Figura 15. Diagrama Sankey de material comercializado por nivel tecnológico	94
Figura 16. Diagrama Sankey del total de materiales por nivel tecnológico de la explotación	95
Figura 17. Diagrama Sankey del proceso de distribución de agregados pétreos.....	96
Figura 18. Diagrama Sankey de los flujos regionales	97
Figura 19. Diagrama Sankey por clase de material	98
Figura 20. Diagrama Sankey de agregados pétreos de acuerdo a su fuente.....	99
Figura 21. Diagrama Sankey de calor desprendido de las canteras en 1976.....	103
Figura 22. Diagrama conceptual modelo DPSIR- FPEIR utilizado por la UNEP	107
Figura 23. Modelo FPEIR para el sistema de explotaciones de derivados pétreos en Bogotá.....	112

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Perspectivas de estudio del Metabolismo.....	17
Tabla 2. Concepciones de ciudad como objeto de estudio.....	21
Tabla 3. Estudios de Metabolismo Urbano a nivel local	38
Tabla 4. Estudios de Metabolismo Urbano a nivel municipal	39
Tabla 5. Estudios de Metabolismo Urbano a nivel regional	41
Tabla 6. Otros recursos de Metabolismo Urbano	41
Tabla 7. Producción mundial de estudios en Metabolismo Urbano	42
Tabla 8. Sustracciones a la Reserva Forestal	46
Tabla 9. Zonas ambientales	47
Tabla 10. Principales especies en las plantaciones forestales	48
Tabla 11. Ocupación territorial de los usos del suelo en la Reserva Forestal para 2006	49
Tabla 12. Población urbana asentada en el área de la reserva 2006.	52
Tabla 13. Tipos de área en la localidad de Usaquén.....	53
Tabla 14. Localización de las alfarerías hasta 1914.	61
Tabla 15. Volumen de reservas de derivados pétreos para Bogotá en los años 1971 y 1985.....	76
Tabla 16. Frentes de derivados pétreos en la ciudad de Bogotá	77
Tabla 17. Clasificación de tipo de canteras según proceso productivo.....	82
Tabla 18. Maquinaria e insumos utilizados por una cantera en 1971.	86
Tabla 19. Explotaciones de derivados pétreos en Usaquén en el siglo XX	88
Tabla 20. Canteras representativas de la localidad de Usaquén	89
Tabla 21. Producción anual productos pétreos Bogotá 1976	91
Tabla 22 Consumo diario de cantera en los cerros nororientales de Bogotá en 1976. ..	101

Lista de ilustraciones

	Pág.
Ilustración 1. Fotografías aéreas ciudad de Bogotá 1950-2004 donde se aprecia los cerros como “borde ecológico”.	54
Ilustración 2. Acuarelas de Edward Mark. Colombia 1843 – 1856.	57
Ilustración 3. Hornos de chircales ubicados en el Sur de Bogotá en 1985	61
Ilustración 4. Impacto ecológico de canteras de piedra en Usaquén 1982.....	64
Ilustración 5. Piletas de uso público para el abastecimiento de agua. 1940.....	66
Ilustración 6. Desarrollos urbanos progresivos en canteras en Usaquén en 1982	69
Ilustración 7. Construcción del cable aéreo de la empresa Cementos Samper 1954.....	71
Ilustración 8. Cantera de Soratama (Usaquén) con varios frentes abiertos en el año de 1985	78
Ilustración 9. Producción de piedra songa de forma manual en la Cantera Soratama en 1982	85
Ilustración 10. Trabajo infantil en canteras del norte de Bogotá en 1985	87

Lista de cuadros

	Pág.
Cuadro 1. Definición de Metabolismo.....	11
Cuadro 2. Perspectivas del metabolismo como campo de estudio	17
Cuadro 3. La ciudad como un escenario híbrido del metabolismo.....	20
Cuadro 4. Metabolismo de la ciudad de Bogotá en 2010	30
Cuadro 5. Servicios ecosistémicos de los Cerros Orientales de Bogotá.....	50
Cuadro 6. Tipos de actividades extractivas	80

Lista de Símbolos y abreviaturas

AGN	Archivo General de la Nación
AB	Archivo de Bogotá
CAR	Corporación Autónoma Regional
CENAC	Centro Estadístico Nacional de la Construcción
DANE	Departamento Nacional de Estadística
EAAB	Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
EEP	Estructura Ecológica Principal
FPEIR	Fuerza motora–Presión–Estado–Impacto–Respuesta
IAC	Instituto Agustín Codazzi
INDERENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables
MFA	Materia Flow Analysis
MS	Metabolismo Social
MSE	Metabolismo Socioecológico
MSEU	Metabolismo Socioecológico Urbano
MU	Metabolismo Urbano
RFPBOB	Reserva forestal protectora del Bosque Oriental de Bogotá
SE	Servicios Ecosistémicos
SDA	Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá
SDP	Secretaría Distrital de Planeación de Bogotá

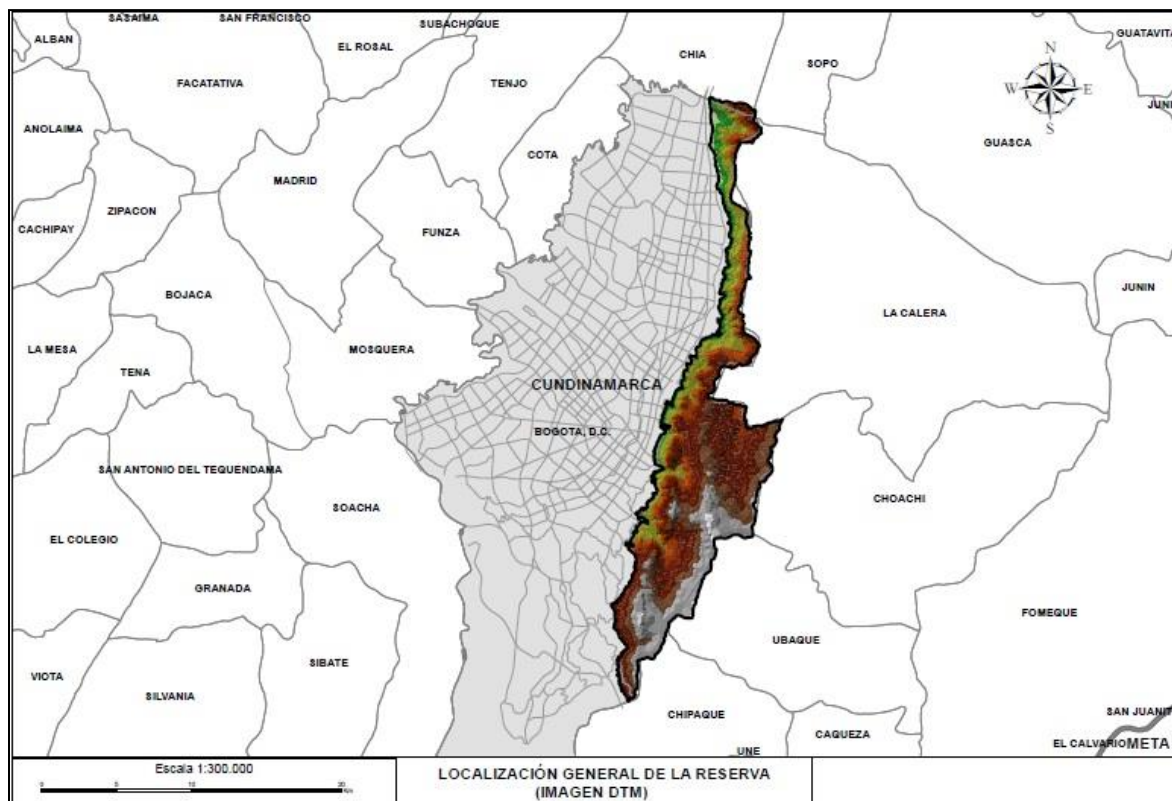
Introducción

El metabolismo y las transiciones socio-ecológicas son enfoques teóricos innovadores, cuyo objetivo principal es estudiar la sustentabilidad en un territorio a través de un conjunto de indicadores cuantitativos y cualitativos, a nivel de configuraciones en el uso de materiales y energía. Analizando las diversas interrelaciones materiales entre un sistema social con su medio natural, particularmente, las transiciones de modos de subsistencia agrícolas a industriales (Fischer-Kowalski, 1998; Fischer-Kowalski & Haberl, 1997; Fischer-Kowalski & Weisz, 1999; Toledo, 2008; Toledo & Gonzalez de Molina, 2007). En este caso, este análisis se da a nivel local en los cerros nororientales de la ciudad de Bogotá (República de Colombia), donde el grupo social es el conjunto de habitantes de las zonas urbanas en los cerros y el entorno biofísico del cual depende, tanto a nivel material, (recursos físicos), como a nivel inmaterial (cultural, escénico y recreativo) son los ecosistemas de los cerros (Heynen, Kaika, & Swyngedouw, 2006; Christopher Kennedy, Cuddihy, & Engel-Yan, 2007; Melosi, 2010; Wolman, 1965).

Es por esto que el enfoque teórico de las transiciones socio-ecológicas por medio del metabolismo socio-ecológico, es un marco relevante para entender y analizar el cambio urbano de una ciudad en continua expansión, de sus dinámicas ecológicas y sociales, así como para comprender los umbrales de crecimiento de los sistemas urbanos. Adicionalmente, esta perspectiva contribuye a la generación de elementos críticos para la formulación de política pública, por medio de información acerca de la intensidad en el uso de materiales y energía a lo largo del tiempo. También se observa que el estudio del metabolismo socio-ecológico aún no ha sido aplicado a procesos de cambio urbano locales, de acuerdo a los referentes teóricos y metodológicos consultados (Christopher Kennedy, Pincetl, & Bunje, 2011). Por esto, se hace necesaria la aplicación de este enfoque a nivel de la expansión urbana de las ciudades, en este caso particular, la transformación histórica de los cerros nororientales, ubicados en la localidad de Usaquén, los cuales en la actualidad se encuentran protegidos y son espacio de

protección bajo la Reserva Forestal Protectora del Bosque Oriental de Bogotá (RFPBOB) (Figura 1).

Figura 1. Localización de la Reserva Forestal Protectora del Bosque Oriental de Bogotá.

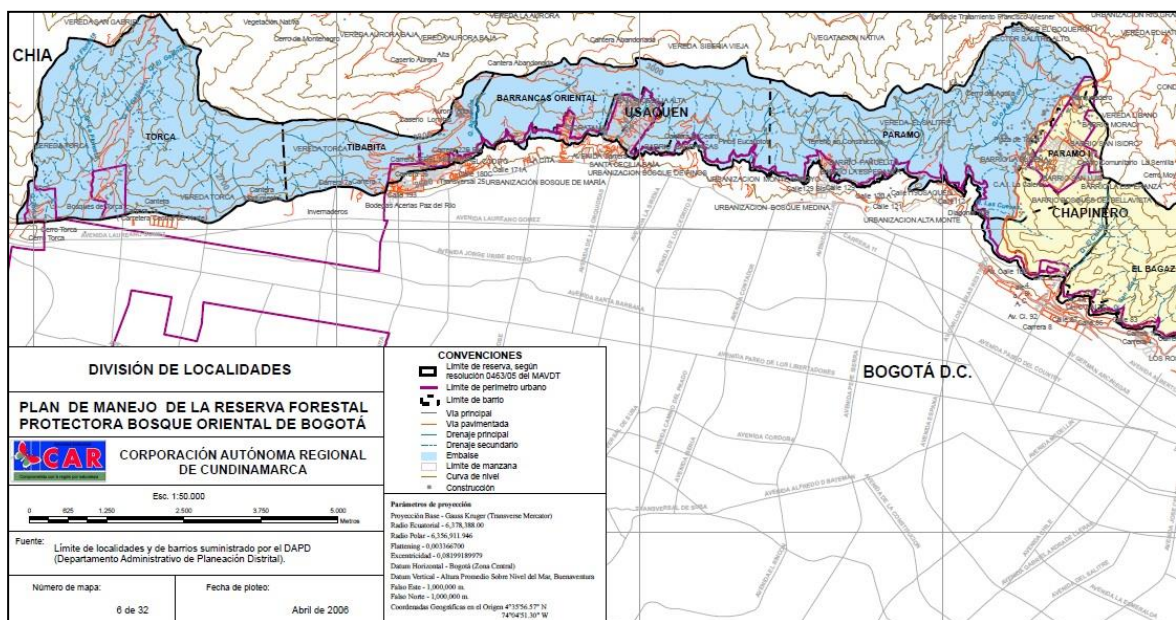


Fuente: Plan de manejo de la reserva forestal protectora bosque oriental de Bogotá, Mapa 3 de 32 (CAR, 2006).

Para la ciudad de Bogotá es fundamental conservar sus ecosistemas de soporte, es decir, los ecosistemas que brindan bienes y servicios ecosistémicos a los grupos de habitantes en este territorio y conocer sus límites de expansión, con el objeto de formular políticas que sean pertinentes y tendientes a la sustentabilidad de sus dinámicas, por cuanto, existen diversos estudios donde se evidencia que la zona norte de esta ciudad posee presiones de tipo antrópico, caracterizados principalmente por la urbanización (G. I. Ardila, 2011a; G. I. Ardila & Acevedo, 2003; Pérez, 2003). De acuerdo a Butler y Spencer (2010), la ciudad de Bogotá será para 2025 una megaciudad, con una población estimada de 10.540.000 habitantes, con lo cual, esta consiguiente expansión urbana generará presiones ambientales y socio-económicas sobre las zonas naturales cercanas.

El territorio determinado para este análisis es la zona norte de los cerros de la capital colombiana (Figura 2). Como factores de transformación del área, se evidencian el incremento en la urbanización en los últimos años, tanto residencial como empresarial, que planea expandirse gracias al desconocimiento de la importancia ambiental de esta zona para la capital y a los intereses económicos particulares de constructoras (G. Ardila, 2009; G. I. Ardila, 2003; G. I. Ardila & Acevedo, 2003; G. I. Ardila & CAR, 2010; J. Preciado, 2009) y la actividad extractiva, particularmente de agregados pétreos² en las tres últimas décadas del siglo pasado.

Figura 2. Localización cerros orientales de la localidad de Usaquén, Bogotá.



Fuente: Plan de manejo de la reserva forestal protectora bosque oriental de Bogotá, Mapa 6 de 32 (CAR, 2006).

Los cerros orientales corresponden a la RFPBOB, actualmente el área de la reserva forestal es de 14.115,85 Ha, de las cuales 2.851,61 Ha se ubican en la localidad de Usaquén, es decir un 20,2%. Esta zona norte de los cerros orientales está dividida en cuatro veredas denominadas Torca, Tibabita, Barrancas oriental y Páramo.

² Los agregados pétreos son de acuerdo al Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia, los derivados de materia prima, de la industria extractiva de la piedra, tal como la arena, la grava y el recebo entre otros.

La importancia de este territorio es gracias a sus servicios ecosistémicos, tal como lo afirma Van der Hammen (2003), esta área ostenta una importancia determinante en sus recursos naturales y en su biodiversidad, por lo tanto, este autor sugiere crear un espacio verde intermunicipal para conservar los diversos ecosistemas que dan sustento a la Estructura Ecológica Principal³ de la región.

El periodo de tiempo en el que se plantea esta indagación es entre el año 1894 y 2006, para el caso de las perspectivas históricas ambientales y el año de 1976 para la realización del perfil metabólico, ya que entre estas fechas se produce la mayor transformación ecológica del paisaje y en efecto una transición socio-ecológica, por cuenta de diversas fuerzas direccionadoras, ya sean institucionales, económicas, culturales y/o ecológicas. Esta dinámica de cambio se incrementa por la anexión del pueblo de Usaquén a la ciudad de Bogotá mediante el Decreto legislativo 3640 de 1954, con lo cual este territorio se integra a la nueva urbe y sus procesos urbano-industriales (F. Jiménez, 2009).

La actividad de las explotaciones, la urbanización no planificada y el continuo crecimiento de la ciudad hacia el norte de la sabana y en los cerros orientales, son fuerzas motoras que generan grandes efectos a los ecosistemas, impulsado por la constante migración de personas hacia Bogotá por diversos motivos (biofísicos, económicos, políticos o sociales) que implicó la recepción de enormes cantidades de seres humanos día a día, así como por el crecimiento vegetativo de la población residente y el impacto de la población flotante de los municipios ubicados al norte de la capital Colombiana. Los anteriores factores incrementaron la presión sobre los ecosistemas que brindan materiales y servicios ecosistémicos de los cuales depende la ciudad y su metabolismo (Pérez, 2003; J. Preciado, 2009)

En este escrito se presenta los resultados del metabolismo socio-ecológico de los cerros nororientales de la ciudad de Bogotá. En el primer capítulo se plantea una disertación

³ Red de espacios y corredores que sostienen y conducen la biodiversidad y los procesos ecológicos esenciales a través del territorio, en sus diferentes formas e intensidades de ocupación, dotando al mismo de servicios ecosistémicos para la sustentabilidad del mismo. La Estructura Ecológica Principal tiene como base la estructura ecológica, geomorfológica y biológica original y existente en el territorio. Los cerros, el valle aluvial del río Bogotá y la planicie son parte de esta estructura basal. El conjunto de reservas, parques y restos de la vegetación natural de quebradas y ríos son parte esencial de la Estructura Ecológica Principal deseable y para su realización es esencial la restauración ecológica. (Van der Hammen, T. 2003).

teórica acerca del metabolismo socio-ecológico, su recorrido histórico, la necesidad de construir un marco teórico y conceptual a nivel urbano, y las oportunidades y retos de Latinoamérica con esta perspectiva transdisciplinaria, así como los aspectos metodológicos pertinentes.

El segundo capítulo trata sobre la sustentabilidad de sistemas urbano-rurales, especialmente para la ciudad de Bogotá, se realiza una reconstrucción rigurosa del estado del arte del metabolismo urbano, sus orígenes, metodologías, estudios a nivel local, municipal y regional, y el futuro de esta óptica para analizar los sistemas urbanos.

En el tercer capítulo se devela el proceso histórico de los cerros nororientales de Bogotá desde una perspectiva ambiental, enfocándose en las características ambientales, el contexto histórico ambiental de las dinámicas de interrelación entre la ciudad y ese territorio. Se plantean tres visiones sobre los cerros orientales de acuerdo al estudio bibliográfico, estos son simbólico, proveedor de materiales y energía; y como espacio de asentamiento humano.

El cuarto capítulo se analiza el contexto histórico de las explotaciones de agregados pétreos en la ciudad de Bogotá, así como la síntesis geológica de la zona de Usaquén, para, a continuación calcular y analizar el flujo de materiales y energía de las canteras en el año de 1976, utilizando la metodología Material and Energy Flow Assessment (MEFA) y obtener el perfil metabólico de estas actividades. Por último, se plantean los efectos metabólicos de las actividades extractivas en el escenario de análisis.

1. Un reciente enfoque para indagar las interrelaciones Sociedad-Naturaleza: Metabolismo Socio-Ecológico

El metabolismo socio-ecológico como perspectiva transdisciplinaria para la investigación y generación de política pública, es fundamental en la realidad actual, donde el consumo de recursos renovables y no renovables aumenta crecientemente. En este capítulo se abordará el desarrollo teórico de este enfoque, para continuar con su aplicación en el escenario urbano, con sus particularidades, en especial la transición rural-urbana. Y finalizar con un recuento de los retos y el futuro de esta perspectiva teórica y metodológica para entender de manera integral las relaciones sociedad-naturaleza a través de este marco teórico.

1.1 La emergencia de un enfoque integrador

La humanidad a lo largo de su co-evolución con la naturaleza ha generado una serie de prácticas en torno a ella. Las diversas sociedades han modificado el entorno natural a diferentes niveles y se han modificado a sí mismas, generando una serie de relaciones de interdependencia entre los ecosistemas y las comunidades humanas (Fischer-Kowalski & Weisz, 1999). Estas interrelaciones entre sociedad y naturaleza han sido objeto de estudio de diversas ciencias en el marco del dualismo Cartesiano, creando comprensiones para entender la reciprocidad de los sistemas sociales y ecológicos, que, finalmente ha generado una escisión en el estudio de los elementos de la biosfera. Por lo tanto, esta ruptura debe trascender y entenderse de manera concreta como un solo sistema, como una unidad sagrada (Bateson, 1997). Es necesario un nuevo enfoque teórico y metodológico que integre en una sola mirada, el análisis de las interrelaciones

dinámicas y complejas que convergen entre los sistemas sociales y los sistemas naturales, a diversa escala, desde lo global hasta lo local⁴.

Sin embargo, los objetivos de estas nuevas miradas no deben simplemente relacionar estrechamente las disciplinas, integrando marginalmente los conocimientos de una, al cuerpo teórico de la otra. En otras palabras, estas nuevas perspectivas transdisciplinarias deben integrar los conocimientos y métodos de diversas ciencias con el fin último de generar nuevos caminos para la comprensión de los fenómenos en el mundo. Por lo tanto, es prioritario el surgimiento de nuevos conceptos y paradigmas para entender la realidad, que partan de un estudio incluyente de las relaciones ambientales (Sociedad-Naturaleza), o como lo plantea Ángel Maya (1995; 1996; 2000) entre la Cultura y el entorno natural. En este sentido, se utiliza e indaga para esta investigación el Metabolismo Socio-Ecológico (MSE), como un enfoque teórico reciente e integrador con fuertes referentes en diversas disciplinas tanto de ciencias sociales, como de las llamadas ciencias exactas. Este enfoque pretende, en una primera parte, comprender el lugar de la sociedad dentro de la naturaleza, a base del análisis de la materialidad de sus interrelaciones y las dinámicas sociales, políticas y culturales para que éstas se den, pues las relaciones sociales juegan un papel fundamental en las transformaciones del entorno natural. Así como, brindar información relevante a nivel empírico de consumos y transformación de materiales y energía de sistemas sociales en conjunto con sistemas ecológicos, que permitan la comprensión del rol de los grupos sociales sobre el territorio y la toma de decisiones políticas y sociales en torno a este.

Se observa de manera crítica a la sociedad como un sistema abierto, conocido como Antropósfera, dentro de un sistema natural aún mayor denominado Biosfera, el cual está compuesto por flujos de energía, de materiales e información que permiten el desarrollo de los procesos ecológicos y sociales, donde los recursos se consideran limitados, en clara alusión a la analogía de Boulding (1966), en la cual, el autor considera al planeta tierra como una nave espacial, donde el uso de los recursos tiene un límite.

⁴ Varios autores han desarrollado enfoques teóricos cuyo objetivo es analizar las interrelaciones sociedad-naturaleza, entre ellos se encuentran: S. V. Boyden (1992), Godelier (1986) y Siefertle (1997).

Por otro lado, en los sistemas socio-ecológicos⁵, caracterizados por ser sistemas de factores biofísicos y sociales que interactúan regularmente de una manera flexible y sostenida, y por contener un conjunto de recursos críticos (ecológicos, socioeconómicos y culturales) cuyo flujo y uso está regulado por una combinación de los sistemas ecológicos y sociales, ocurren procesos donde el ser humano transforma energía, y apropia, circula, transforma, consume y excreta materiales (Cook, 1973; Toledo, 2008; Toledo & Gonzalez de Molina, 2007). Los flujos tanto de energía como de materiales de un grupo social, ocurridos en un espacio y en un tiempo determinado, permiten comparar modos de uso de los recursos por grupos sociales, y así converger hacia modelos de sustentabilidad, esta última entendida como uso armónico de la energía y los materiales de un territorio, sin exceder tanto la renovación de materiales como la capacidad de carga del mismo (Carrizosa, 2005).

Las sociedades producen y reproducen sus condiciones materiales de subsistencia a partir de su MSE, es decir, el metabolismo entre la sociedad y la naturaleza está ligado directamente a las relaciones sociales. Por tanto, se aclara que este enfoque no busca explicar las relaciones ambientales desde un punto de vista meramente físico-biológico, pues considera que las relaciones sociales poseen un peso preponderante, ya que transforman e inducen al cambio de manera incremental o no, en el consumo de materiales y la transformación de la energía; y a su vez el uso de materiales y energía no gobiernan las relaciones sociales.

Los perfiles metabólicos como medida anual en el consumo de recursos, dan cuenta detallada de cambios cualitativos y cuantitativos del intercambio material entre la sociedad con el medio natural, que al ser estudiados como serie en el tiempo develan transiciones socio-ecológicas que permiten entender rupturas y patrones de cambio a lo largo del tiempo (Helmut Haberl, Fischer-Kowalski, Krausmann, Martinez-Alier, & Winiwarter, 2009). Estas transiciones se dan entre diferentes modos de uso o modos de subsistencia de la sociedad, desde el estadio de cazador-recolector, pasando por modo

⁵ Se le denomina Sistema socio-ecológico a la unidad bio-geofísica que está interrelacionada con actores sociales e instituciones. Estos sistemas se consideran complejos y adaptativos, delimitando con fronteras espaciales o funcionales, a ecosistemas particulares y su contexto histórico (Glaser, Krause, Ratter, & Welp, 2008).

de uso agrícola hasta el modo de uso industrial (Gadgil & Guha, 1992), en los cuales se observa un incremento en la extracción, transformación y disposición de materiales, en cada uno de los modos de subsistencia.

Los sistemas en transición de orden rural a urbano, son objeto de estudio a nivel de la ecología urbana, la cual apoya e integra el cuerpo teórico para esta indagación. Este reciente enfoque pretende aplicar los conocimientos de la ecología en los sistemas urbanos, donde algunos autores tales como Di Pace y Caride Bartrons (2004) y E. Odum (1993) proponen considerar a la ciudad como un “ecosistema”, hecho que supone debate y análisis para clarificar este proceso de investigación. Otros autores como Swyngedouw (1996, 2006) consideran a la ciudad como un sistema híbrido, el cual, es constituido a través de redes complejas de interacción de procesos socio-metabólicos, que son simultáneamente humanos, físicos, discursivos, culturales, materiales y orgánicos (Se considera Ciudad Cyborg).

Por otro lado, el estudio de las dinámicas rural-urbanas supone del tratamiento complejo e interdisciplinario, en este sentido García (1994, 2006), propone analizar a la ciudad como un *sistema complejo* que funciona como una totalidad organizada en la cual están involucrados factores como el medio físico-biológico, la producción, la tecnología, la organización social, la economía y la cultura. Entre tanto, Leff (2000) enfoca su análisis en la pertinencia de la complejidad ambiental para abordar las dinámicas socio-ecológicas. Por tanto se establece que la complejidad está presente y es inherente en las transiciones socio-ecológicas de los territorios.

1.2 Metabolismo Socio-Ecológico Urbano: Construcción necesaria

La palabra “metabolismo” es un neologismo comúnmente encontrado en textos y estudios de la biología y ecología. Este concepto data de los trabajos iniciales Theodor Schwann (1839), donde sostiene que los fenómenos de las células individuales se pueden resumir en dos clases, el primero, los que se refieren a la combinación de las moléculas para formar una célula, llamados fenómenos plásticos, y el segundo las que resultan de los cambios químicos, ya sea en las partículas componentes de la propia célula, o en el cytoblastema (el actual citoplasma), llamados por él, “fenómenos

metabólicos”, utilizando por primera vez en la ciencia esta distinción. Así, Schwann acuñó el término "metabolismo", que se convirtió en general, en un término para referirse al conjunto de procesos químicos, mediante el cual, los cambios de energía se producen en los seres vivos.

Mientras que Purves, Orians y Heller (1992) manifiestan que para sostener los procesos de la vida, una célula típica lleva a cabo miles de reacciones bioquímicas cada segundo, por tanto, la suma de todas las reacciones biológicas constituye el metabolismo. Hecho que plantea una reducción de la concepción del metabolismo por parte de la Biología. Sin embargo, existe una postura desde la ecología, en la que se favorece el uso de este concepto en todos los niveles biológicos desde la célula hasta los ecosistemas (E. Odum, 1973, p. 7).

Cuadro 1. Definición de Metabolismo

Metabolismo

Este concepto se considerará en todo el trabajo de acuerdo a su etimología y no con su acepción más aceptada relacionada con la biología. Esta palabra se deriva del griego:

μεταβολή (metabole = cambio, transformación y variación)

-ισμος (-ismo = proceso, estado, cualidad, actividad, doctrina, sistema).

Así, el metabolismo se considera como la **cualidad/proceso de transformación o cambio**, pudiendo llevar este marco a un enfoque más amplio e integral, más allá de fronteras biológicas.

1.2.1 Tradiciones teóricas que constituyen el Metabolismo Socio-Ecológico

El estudio del intercambio material entre organismos y su entorno natural, inició con el análisis de los ciclos de materiales, particularmente el ciclo del carbono y los nutrientes de las plantas. Para la década de 1840, el químico Liebig (1842) publica *Animal Chemistry or Organic Chemistry in its Application to Physiology and Pathology*, en el que provee la primera explicación del rol de los nutrientes del suelo, como el potasio, el nitrógeno y el fósforo para el crecimiento de las plantas. Mientras, la concepción del

metabolismo por parte de biólogos, en especial materialistas fisiológicos como Moleschott (1857), se centraba en el intercambio material entre un organismo y su medio ambiente, sin embargo, no centrado únicamente en las plantas, siendo pionero en el estudio de esta área entre plantas y animales.

Estos desarrollos conceptuales, que desde la biología y química se evidencian para la segunda mitad del siglo XIX, permiten a Marx y Engels siguiendo los trabajos de Liebig⁶ y Moleschott, plantear el concepto de *Stoffwechsel* (Trad. Del alemán, **Intercambio Material** y recientemente **Metabolismo**), el cual estaba inmerso en la concepción del *proceso de trabajo o labor*. En este sentido, Marx y Engels utilizan el concepto de metabolismo (*Stoffwechsel*) para describir la relación entre la naturaleza y el ser humano a través del proceso de trabajo:

“Die Arbeit ist zunächst ein Prozeß zwischen Mensch und Natur, ein Prozeß, worin der Mensch seinen Stoffwechsel mit der Natur durch seine eigne Tat vermittelt, regelt und kontrolliert. Er tritt dem Naturstoff selbst als eine Naturmacht gegenüber. Die seiner Leiblichkeit angehörigen Naturkräfte, Arme und Beine, Kopf und Hand, setzt er in Bewegung, um sich den Naturstoff in einer für sein eignes Leben brauchbaren Form anzueignen. Indem er durch diese Bewegung auf die Natur außer ihm wirkt und sie verändert, verändert er zugleich seine eigne Natur... ,allgemeine Bedingung des Stoffwechsels zwischen Mensch und Natur, ewige Naturbedingung des menschlichen Lebens” (Marx & Engels, 1890, pp. 192, 198)

Traducción

“El trabajo es, en primer lugar, un proceso entre el hombre y la naturaleza, un proceso mediante el cual el hombre, a través de sus propias acciones, media, regula y controla el metabolismo entre él y la naturaleza. Él se enfrenta a los materiales de la naturaleza como a una fuerza de la misma. Pone en movimiento las fuerzas naturales que pertenecen a su propio cuerpo, sus brazos, piernas, cabeza y manos, con el fin de apropiarse de los materiales de la naturaleza para adaptar a sus propias necesidades. A través de este movimiento, actúa sobre la naturaleza exterior y la cambia; y de esta manera, cambia su propia naturaleza al

⁶ Para un análisis más profundo de la importancia del trabajo de Liebig en la preocupación de la agricultura industrial de Marx, ver Foster (1999).

mismo tiempo. . . . Este proceso [El proceso de trabajo] es la condición general del metabolismo entre el hombre y la naturaleza, la eterna condición impuesta por la naturaleza de la existencia humana".

Inclusive, la reflexión en torno a la relación entre la sociedad y la naturaleza en Marx, inicia con sus Manuscritos Económicos y Filosóficos de 1844, donde explica que *"el hombre vive de la naturaleza, en este sentido, la naturaleza es su cuerpo y él, debe mantener un continuo dialogo con ella, si él no lo hace puede morir."* (Marx (1974) p. 328 citado en Foster, 1999, p. 381). Es decir, la vida física y mental del ser humano está ligada a la naturaleza, esto significa simplemente que la naturaleza está ligada consigo misma, porque el ser humano es parte de ella. Marx concibe el papel del ser humano como parte orgánica de la naturaleza, brindándole un papel preponderante en la transformación de esta, a través de acciones que la sociedad por medio de los individuos ejerce para la apropiación de los elementos de la naturaleza, refiriéndose esencialmente a los materiales, no a la energía⁷. Sin embargo, no trata explícitamente en sus trabajos las relaciones sociales como eje para la construcción del MSE, si no, desde la labor como una actividad individual.

De acuerdo a Hayward (1994), el concepto marxista de metabolismo socio-ecológico⁸ integra los aspectos fundamentales de la existencia de los seres humanos, características a nivel físico y natural, los cuales incluyen intercambios energéticos y materiales que se producen entre los seres humanos y la naturaleza; por tanto visibilizando los procesos biofísicos que se dan lugar en las dinámicas socio-ecológicas. Este metabolismo es regulado desde el lado de la naturaleza por las leyes naturales que rigen los distintos procesos físicos implicados, y desde el lado de la sociedad por normas institucionalizadas que gobiernan la división del trabajo y la distribución de la riqueza, entre otros⁹. Sin embargo, no es claro el papel de las normas institucionalizadas en los procesos metabólicos, tal como lo explica Hayward,

⁷ Mayer (1845) utiliza el concepto de Stoffweschel de la misma manera para el análisis del flujo de energía.

⁸ De acuerdo a Foster (1999), Marx dio al concepto de metabolismo tanto un significado ecológico específico y un sentido social más amplio. Tiene sentido, por tanto, hablar de la metabolismo "socio ecológico".

⁹ Un precursor de la economía ecológica, Georgescu Roegen (1971) afirma: "los flujos de materiales no gobiernan, solo limitan la acción de la economía."

el uso del concepto de metabolismo por parte de Marx y Engels es una acción humana independiente de cada fase social de la existencia o más bien, es común a todas las fases. Lo cual puede sugerir que se genera previamente de cualquier condición pre-social e inclusive histórico-natural de los seres humanos, direccionándolo a un reduccionismo y determinismo físico, e invisibilizando la reciprocidad y la interdependencia entre las instituciones formales e informales y el MSE.

Por otra parte, Bujarin (1922) en su teoría del materialismo histórico, plantea que la sociedad humana debe extraer energía y materiales del medio ambiente para poder existir. La sociedad hace uso de la energía del trabajo humano en este proceso, obtiene y se apropia de una cierta cantidad de energía natural. La manera adecuada de interpretar la idea del metabolismo entre la naturaleza y la sociedad era considerar ese intercambio de energía que permitía el proceso de reproducción social. Este autor presentó, además, una tipología de equilibrios sociales dinámicos en términos de energética social. Así, el crecimiento de la sociedad requería que se extrajera más energía de la naturaleza que la que se gastaba, pero de todas formas una sociedad podía estabilizar su funcionamiento con un nivel bajo de consumo de energía tendiendo a lo que actualmente se concibe como Marxismo ecológico.

A nivel de la energía, en especial su transformación y su uso en la sociedad, se han desarrollado varios enfoques teóricos, principalmente la relación entre el progreso social y la energía. Spencer (1862/1880), sugiere que el progreso social se basa en el excedente de energía, en este sentido plantea que en primer lugar, permite el crecimiento social y por lo tanto la diferenciación social. En segundo lugar, proporciona espacio para las actividades culturales más allá de las necesidades vitales básicas. Mientras, Wilhelm Ostwald (1909; 1912), quien en 1919 obtendría el Premio Nobel en Química, plantea que la transformación más eficiente de la energía bruta en energía útil, es el mayor progreso de una sociedad. En otras palabras, el desarrollo de la cultura dependía de la disponibilidad de la energía útil así como de la eficiencia de su transformación. Hizo hincapié en que cada sociedad tiene que ser consciente del "imperativo energético" (*Energetischer Imperativ*): En palabras del mismo Ostwald, "No malgastes la energía, úsala" (1912, p. 85).

Por su parte, Podolinsky (1880) plantea el principio general de ecología energética humana, ya que indica que la humanidad es una máquina que no sólo convierte el calor y otras fuerzas físicas en trabajo, sino que consigue también realizar el ciclo inverso, es decir, convierte el trabajo en calor y en otras fuerzas que necesita el ser humano para satisfacer sus necesidades. Igualmente, señaló la diferencia entre el uso del flujo de energía solar en la fotosíntesis y el uso del stock de energía del carbón. Por último, manifiesta que la pobreza no podía ser explicada por un análisis ecológico, es decir una crítica al reduccionismo, así el autor defiende el análisis integrado e interdisciplinario del entorno.

Mientras, Sacher (1881) estudia el flujo de energía en la agricultura, evidenciando un aumento de las entradas energéticas. Durante su trabajo intentó dotar a las ciencias sociales de una base natural, ya que creía que las ciencias naturales proporcionaban la base para una economía racional. Igualmente, hizo un esfuerzo por cuantificar la energía disponible por persona al año en Europa central, posiblemente la primera estimación de este género y con esto relacionar las etapas del progreso cultural y las de disponibilidad de la energía antes que Geddes y mucho antes que Henry Adams y Wilhelm Ostwald.

Un interés posterior se da en Soddy (1912, 1922, 1926), quien mantiene la tradición teórica de la energética social. Pues plantea la energía como un factor crítico que limita a la sociedad, por lo que era, en los inicios del siglo XX uno de los pocos teóricos sociales sensibles a la segunda ley de la termodinámica. Por su parte Cottrell (1955), vuelve a plantear la idea de la disponibilidad de energía limita el rango de actividades humanas, esta es una de las razones de los permanentes cambios sociales, económicos, políticos e incluso psicológicos que han acompañado la transición de una sociedad de un bajo consumo de energía a un alto consumo. Lo anterior permite dilucidar un determinismo por parte de la energética en las dinámicas sociales. En cuanto a la diferencia entre uso de la energía individual y social, Lotka (1921, 1925), plantea una distinción entre el uso de energía Endosomática y Exosomática¹⁰, respectivamente. Esta clasificación es crucial a la hora de entender el

¹⁰ Otros autores han diferenciado estas actividades como Biometabolismo y Tecnometabolismo (Sieferle, 1982)

metabolismo a nivel individual (Funciones orgánicas de los seres vivos) y el metabolismo socio-ecológico (Dinámicas sociales mediante las cuales se apropian, extraen, circulan, transforman y excretan recursos).

Por su parte Leslie White, representante de la Antropología Ecológica o Materialista, señala que el nivel de evolución de una sociedad se puede evaluar matemáticamente: *“es el producto de la cantidad de energía per cápita por la eficiencia de la conversión”* (White, 1949, p. 366). Analizó además, la historia humana en términos de la interrelación entre el desarrollo de la tecnología (definido como disponibilidad de energía y eficiencia en su transformación), el sistema social (definido como relaciones de producción) y el nivel cultural-simbólico. Sus dos principales aportes teóricos fueron, la Antropología evolucionista y la teoría metabólica de la evolución cultural.

Sin embargo, desde la Geografía Social existe una preocupación que se incrementa a lo largo del siglo XX sobre el agotamiento de los recursos naturales no renovables (Shaler, 1905), esto se inicia con el trabajo de Marsh (1864), quien plantea que el hombre es una fuerza dinámica, a menudo irracional en la creación de peligro para sí mismo, mediante la destrucción de su base de subsistencia, es decir de los ecosistemas. Más tarde, con la realización de la Conferencia "El rol del hombre en el Cambio de la faz de la tierra" desarrollada en Princeton en el año de 1955, se concluye: Existen los límites del crecimiento, como consecuencia de una limitada base de recursos geológicos (Thomas, 1956) y que se observa en el estudio realizado por Meadows, Meadows, Randers y Behrens (1972). Finalmente el geógrafo Neef (1969) publica su artículo denominado *“El metabolismo entre la sociedad y la naturaleza como un problema central de la geografía” -Der Stoffwechsel zwischen Gesellschaft und Natur als geographisches Problem-* donde describe explícitamente las relaciones materiales desde un punto de vista geográfico entre los grupos sociales y el entorno natural.

En cuanto al **desarrollo teórico y práctico** del cálculo de los flujos materiales y de energía, Geddes (1885) desarrolló un cálculo unificado, en el cual proporciona un marco coherente para la actividad económica y social. Así mismo, el autor sugirió la construcción de una especie de tabla input-output según el modelo del *“Tableau Economique”* del fisiócrata François Quesnay. Su análisis de las etapas de extracción, manufactura y comercio (transporte) de energía y materiales, y las pérdidas no

contabilizadas dieron las bases para la construcción teórica a nivel de las fases del MSE, así como para la teoría del intercambio ecológicamente desigual (Martínez-Alier & Schulpman, 1992).

Entre tanto, los procesos de producción y consumo, Geddes los concibió como procesos mecánicos, en términos actuales podrían hablarse de "termodinámicos" o "entrópicos", y la idea de que la sociedad es una maquina en la cual todos los fenómenos se interpretan como integración y desintegración de materia, acompañadas por la transformación o la disipación de energía, abrían la posibilidad de una completa sistematización cuya aplicación no sería solo cuantitativa (Martínez-Alier, 1987). Por otra parte, este análisis no puede explicar el consumo humano sin introducir consideraciones sicológicas, sociales y antropológicas, es decir, de una forma holística, que permita encontrar relaciones complejas entre los elementos que constituyen el sistema, en este sentido, los desarrollos de la Economía Ecológica¹¹ en los últimos años generan un marco para el análisis de las relaciones de interdependencia entre los sistemas sociales y los naturales (Ver Cuadro 2).

Cuadro 2. Perspectivas del metabolismo como campo de estudio

Varios enfoques de acuerdo al objeto de estudio, han marcado el desarrollo del marco teórico-metodológico del metabolismo socio-ecológico, sin embargo, diversas escuelas trabajan cada uno de ellos y mantienen discusiones en cuanto a la utilidad, fronteras de los sistemas y métodos que utilizan, entre ellos se encuentran:

Tabla 1. Perspectivas de estudio del Metabolismo

Temática	Autores	Características
Metabolismo Socio-económico	Fischer-Kowalski y Haberl (1998); Grünbühel, Haberl, Schandl y Winiwarter (2003),	Su principal interés son los flujos de materiales y los flujos monetarios en sistemas sociales, en particular a escala nacional
Metabolismo	Fischer-Kowalski	Es la perspectiva más fuerte y

¹¹ Para ver trabajos de autores que han integrado el análisis de la Economía Ecológica consultar: Neurath (1925), Boulding (1966), [Georgescu-Roegen \(1971\)](#), Daly (1977), Martínez-Alier (1987), Constanza, Cumberland, Daly, Goodland y Norgaard (1997) y Latouche (2003), entre otros.

Societal o Social	(1998); Kleijn, Bringezu, Fischer-Kowalski y Palm (1998); Fischer-Kowalski y Hüttler (1999)	consolidada de los análisis de metabolismo. A nivel general estudia los flujos de energía y de materiales en sistemas sociales, indistintamente de escalas.
Metabolismo Socio-ecológico	H Haberl et al. (2006) Hall (2011)	De acuerdo a los debates sobre los sistemas socio-ecológicos y sus relaciones interdependientes se erige una nueva perspectiva que toma en consideración los ciclos de materiales y los flujos de energías y de información, tanto al interior de las relaciones y dinámicas sociales como de las ecológicas.
Metabolismo Urbano	Christopher Kennedy et al. (2007)	Particularmente se utiliza para analizar sistemas urbanos y municipales a nivel de ciclos de materiales y flujos de energía.
Metabolismo Industrial	Ayres y Simonis (1994); Ayres y Ayres (2002) Fischer-Kowalski (2003)	Es una de las primeras perspectivas en desarrollarse. Plantea el análisis de flujos de materiales y energía en sistemas industriales y empresas, en especial con el proceso de transformación. Está relacionado con el Ciclo de vida del producto y la Ecología Industrial.
Metabolismo Rural	Toledo (2008),	Esta perspectiva analiza los flujos de energía y materiales de sistemas rurales campesinos e indígenas, Se ha desarrollado con más fuerza en América central.
Metabolismo Agrario	Cusso, Garrabou y Tello (2006), Toledo y Gonzalez de Molina (2007)	Se basa en el análisis de los flujos de energía y ciclos de materiales en los sistemas de cultivo exclusivamente. En general se han desarrollado estudios a nivel histórico. Andalucía, Cataluña y Austria soportan el mayor número de

investigaciones en esta perspectiva.

Fuente: Elaboración propia

Estas perspectivas generales y particulares para integrar, describir, cuantificar y analizar los flujos de materia y energía en los sistemas socio-ecológicos permiten estudiar de manera cuantitativa los escenarios propuestos, con el objetivo de indagar la insustentabilidad de un territorio a lo largo de un periodo de tiempo, describiendo las presiones socioeconómicas y ambientales causadas por el uso de los materiales y la energía por parte de los grupos humanos (Kleijn et al., 1998). Sin embargo, la relación con la investigación cualitativa, con factores sociales, culturales y políticos es por ahora incipiente. Para esto es necesario que áreas como la Ecología Política e Historia Ambiental integren sus métodos y análisis a las investigaciones metabólicas.

El anterior marco construye las bases para considerar el MSE como un enfoque teórico válido para analizar las dinámicas ambientales entre un grupo social y el medio natural del cual depende. Sin embargo, el concepto de **transiciones socio-ecológicas**, brinda la posibilidad de analizar a través del tiempo los cambios en los diversos regímenes socio-metabólicos, los cuales analizan los cambiantes perfiles metabólicos de un determinado territorio a través de indicadores biofísicos, ofreciendo perspectivas sobre las oportunidades, limitaciones y retos de sistemas sociales pasados y contemporáneos (Fischer-Kowalski, 2011; Fischer-Kowalski & Haberl, 2007; Helmut Haberl et al., 2009). Por su parte, Siefertle (2003) señala que las transiciones del régimen sociometabólico son las tendencias en las interrelaciones entre la sociedad y la naturaleza, materializadas en ciertos regímenes de uso o subsistencia (Gadgil & Guha, 1992), diferenciados entre sí por la disponibilidad de energía. Entre los regímenes conceptualizados se encuentran, el régimen de caza o recolección, el régimen agrario y el régimen industrial. Cada uno de ellos presenta características particulares de acuerdo a sus interacciones sociales y las presiones ambientales y sociales que ejercen sobre el medio natural (Siefertle, 1982, 2001)

1.2.2 Hacia una comprensión de los procesos metabólicos en un contexto rural-urbano

Tal como se ha venido presentando, el MSE parte del análisis de sistemas socio-ecológicos de acuerdo a los flujos de energía y materiales, mediados por las instituciones y relaciones sociales, sin embargo, a nivel de espacios concretos y especialmente creados por grupos humanos, el metabolismo cobra un papel más directo. En este caso, se sugiere el Metabolismo Socio-Ecológico Urbano (MSEU) más allá del metabolismo urbano (MU), como concepto pertinente para analizar los procesos metabólicos de conglomerados sociales en el medio “natural”, transformado por la sociedad al interior de las ciudades. El primer exponente del enfoque del MU fue Abel Wolman, quien manifiesta que este involucra diversas actividades de absorción y secreción, entre las cuales se pueden mencionar el agua, los alimentos, la energía y los combustibles para la absorción, y por otra parte las actividades de secreción de aguas residuales, desechos sólidos y los elementos de la contaminación atmosférica, en otras palabras:

“Los requerimientos metabólicos de una ciudad pueden ser definidos como los materiales y las materias primas necesarias para mantener los habitantes de la ciudad, en sus hogares, en el trabajo, y en el juego.... El ciclo metabólico no se completa hasta que los desechos y residuos de la vida cotidiana han sido retirados y eliminados con un mínimo de molestia y peligro” (Wolman, 1965, p. 179).

Cuadro 3. La ciudad como un escenario híbrido del metabolismo

La ciudad, como objeto de estudio a lo largo de los últimos siglos ha sido conceptualizada de diversas formas y con fines distintos de acuerdo a las relaciones con su entorno natural. Se han usado varias metáforas para describir sus dinámicas y relaciones, desarrollándose al cabo de unos años un cuerpo teórico suficiente para ser analizado de forma crítica hasta llegar a la ciudad como un espacio híbrido de interrelaciones entre la sociedad y el entorno biofísico, en otras palabras entre Cultura y Naturaleza –en proceso de transformación-. Entonces, este espacio de relaciones entre poder, materiales, energía e información ha sido analizado desde concepciones organicistas del siglo XIX a neo-organicistas e incluso cibernéticas en el siglo XXI.

Tabla 2. Concepciones de ciudad como objeto de estudio

Perspectiva	Siglo	Características
Ciudad organicista	Siglo XIX	Emerge de una analogía funcional, originándose desde las ciencias médicas, donde la organización espacial corresponde a la disposición de los órganos humanos. Esta concepción está enmarcada en un pensamiento Cartesiano y positivista.
Ciudad parasita	Siglo XX	La ciudad parasita corresponde a una metáfora originada en los años 50 de ciudades pre-industriales, en los países como India y China. Para designar a los espacios que tenían por objeto apropiarse de recursos y no generar crecimiento económico.(Hoselitz, 1955; Spodek, 1975)
Ciudad como ecosistema	Siglo XXI	La ciudad como ecosistema o súper organismo, llevando al máximo la metáfora ecológica, es estudiada como una ciudad ecológica ortodoxa (Boskoff, 1982). En el mismo sentido revela la perspectiva de observar a estos espacios desde una visión fisicoquímica como una conceptualización ecológica de la ciudad (K'Akumu, 2007).
Ciudad Híbrida-Cyborg	Siglo XXI	El enfoque de analizar a la ciudad como un espacio híbrido, donde las relaciones sociales y la naturaleza se consideran complejas, en este sentido conceptualizar este espacio como una serie de procesos de transformación cualitativos y cuantitativos dinámicos e interconectados (Humanos y no humanos) (Swyngedouw, 1996, 2006). En este sentido las relaciones sociales y ecológicas se unen para crear algo nuevo, una emergencia, es decir que dada la complejidad de su dinámica generar nuevas relaciones. (Matthew Gandy, 2005; Swyngedouw, 1996) Es decir procesos de urbanización metabólica.

Fuente: Elaboración propia

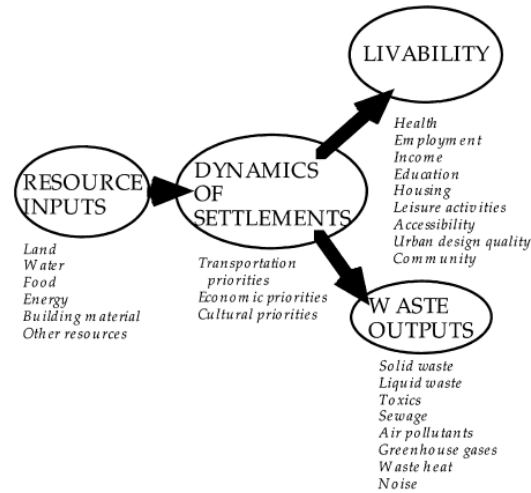
Entre tanto, la preocupación por la transformación de la naturaleza mediante la urbanización, a través de la proliferación de los procesos socio-metabólicos, permite a Swyngedouw (2006) plantear el concepto de *Urbanización Metabólica*, la cual abarca los anteriores procesos en la expansión de la ciudad. Así, el enfoque de la urbanización metabólica, manifiesta que la insustentabilidad hoy está directamente relacionada con la organización espacio-temporal de los flujos metabólicos y de los circuitos del metabolismo como un proceso socio-ecológico a nivel histórico. Integrando a lo anterior, Matthew Gandy (2005) subraya, el concepto de *Urbanización Cyborg*, en clara alusión a la idea de derrumbar las barreras entre lo orgánico e inorgánico, entre lo social y tecnológico.

Por otro lado, a nivel de la ecología política, la urbanización del ambiente, es un proyecto tanto ecológico como social, que construyen diversos entornos en los cuales se habita hoy en día, dado la complejidad de las relaciones de poder que se intervienen en los procesos socio-ecológicos. Finalmente, siguiendo a Swyngedouw (2006), concibe a la ciudad como un proceso metabólico que se materializa a través de las relaciones socio-ecológicas organizadas por redes sociales y canales, cuyo origen, dinámica y desarrollo se da gracias a factores políticos, sociales, culturales, económicos.

Generando un marco teórico integral, Newman (1999)¹² propone un modelo extendido del MU, enfocado a considerar las entradas y las salidas de materiales, la dinámica de los asentamientos y la habitabilidad en la ciudad (Figura 3).

¹² Es uno de los estudios de metabolismo urbano, que tiene en cuenta aspectos sociales como, la salud, el empleo, la educación y la comunidad, haciendo de este un estudio hacia la integralidad en el marco del MSEU.

Figura 3 Modelo extendido del metabolismo de asentamientos humanos



Fuente: Tomado de Newman (1999)

Sin embargo, desde la óptica del MSE Toledo (2008) plantea en la figura 4, los cinco procesos metabólicos a través de tres dimensiones del MSE (Rural, Urbano e Industrial). Los cuales se distinguen por concentrar una mayor intensidad en cada proceso, de acuerdo a sus dinámicas propias. Por tanto, la transición socio-ecológica desde un metabolismo rural a uno urbano se propicia considerando las dinámicas de apropiación, circulación, transformación, consumo y excreción de materiales y energía de un grupo social particular, en un contexto histórico mediado por decisiones políticas, económicas y prácticas culturales. Por otro lado, se debe considerar las configuraciones y transformaciones en el paisaje, como evidencia de la transición socio-ecológica.

Figura 4 Procesos Metabólicos en tres dimensiones del metabolismo social

	Apropiación	Circulación	Transformación	Consumo	Excreción
Metabolismo Rural	■				
Metabolismo Urbano		■		■	■
Metabolismo Industrial			■	■	■

Fuente: Tomado de Toledo (2008)

Un aspecto de suma importancia para el análisis de la transición ha de ser la calidad de vida de la población y la resiliencia del sistema socio-ecológico. En este sentido, los desarrollos llevados a cabo por Stimson, Western, Mullins y Simpson (1999), demuestran el vínculo entre la calidad de vida y el MSE. Mientras, a nivel de paisaje, la investigación relacionada con MSE se ha enfocado en el análisis de superficie. Deilmann (2009), ha avanzado en la conceptualización de la ocupación de la superficie a través de la mirada del MU y de sistemas de información geográfica.

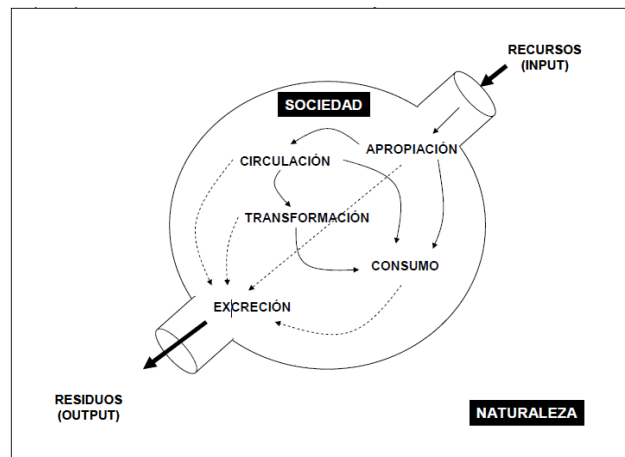
Finalmente, se plantea que el MSEU es uno más de los enfoques para analizar la sustentabilidad de los sistemas socio-ecológicos urbanos. De acuerdo a K'Akumu (2007), se evidencian otros tres enfoques, los cuales son: el crecimiento urbano, la ecología política urbana y la huella ecológica de las ciudades. La necesidad de estudiar la sustentabilidad de estos sistemas ha propiciado la investigación del metabolismo en análisis comparados (Christopher Kennedy et al., 2007), o inclusive integrar los anteriores enfoques tal como “la política del metabolismo urbano” (Heynen et al., 2006), o los avances de la historia ambiental urbana en las indagaciones del MU (Melosi, 1993, 2010; Tarr, 2002).

1.3 Nuevos retos y responsabilidades para Iberoamérica

Desde una perspectiva iberoamericana, el MSE se ha desarrollado bajo un marco levemente diferente, distanciado de la corriente dominante, meramente materialista, relacionada con los desarrollos del Instituto de Ecología Social de Viena. Sin embargo, a nivel latinoamericano hay autores como Víctor Toledo, que sostienen que el metabolismo social emerge de dinámicas de intercambio ecológico en términos de apropiación de ecosistemas y un intercambio económico, el cual es un instrumento de transferencia de energía y materiales entre diferentes conglomerados sociales. De hecho, el MSE incluye también dimensiones intangibles como la cultura, la ideología, el conocimiento, las instituciones y las cosmovisiones (Toledo, 1981; Toledo, Alarcón-Cháires, & Barón, 1999, 2002). Toledo y Gonzalez de Molina (2007). Del mismo modo plantean lo “duro” y lo “blando” del metabolismo social, es decir, flujos de materiales y energía de las relaciones entre la sociedad y la naturaleza (Hardware) y, las instituciones y sus subsiguientes sistemas simbólicos, reglas jurídicas y/o sociales (Software). Este hardware y software se determinan recíprocamente a lo largo de la historia en procesos que hoy son objeto de análisis y estudio.

Para Toledo (2008), el MSE contiene tres tipos de flujos de materiales y energía: En el primer caso los flujos de entrada, los flujos interiores y finalmente los flujos de salida. En otras palabras el proceso metabólico de la sociedad se ve entonces constituido por cinco procesos: la apropiación (A), la transformación (T), la distribución (D), el consumo (C) y la excreción (E) como se observa en la Figura 5.

Figura 5 Los cinco procesos del metabolismo social



Fuente: Tomado de Toledo (2008)

Por su parte, el catalán Joan Martínez Alier estudia el vínculo de la ecología política y el metabolismo socio ecológico, bajo el marco de la economía ecológica, donde sus principales inquietudes han sido: Los conflictos ecológicos distributivos, Los lenguajes de valoración y El intercambio ecológicamente desigual (Martínez-Alier, 2004, 2009). Así mismo, ha colaborado con investigadores latinoamericanos en indagaciones sobre los perfiles metabólicos de economías de esta región del mundo, entre ellas Colombia (Vallejo, Pérez, & Martínez-Alier, 2011).

Las dinámicas actuales del sistema económico mundial interrelacionada a una cultura globalizante, ejercen sobre Latinoamérica gran presión socio-ecológica, materializada por interés de grandes compañías minero-energéticas y los flujos de materiales que salen de estos países a economías industrializadas, aumentando el comercio ecológicamente desigual (Alimonda, 2011; Delgado-Ramos, 2010). Es en este contexto, particularmente visto a través de la ecología política como conflictos socio-ambientales —especialmente en comunidades indígenas y campesinas-, que el análisis del metabolismo socio-ecológico es relevante. Es necesario ampliar el campo de actuación de la academia, hacia modelos aún más integrales e incluyentes con las comunidades.

1.4 Aspectos Metodológicos para el presente estudio

En el escenario de análisis descrito, el objeto de estudio se centra en el sistema rural-urbano de los cerros nororientales de Bogotá y su dinámica de transformación. Es decir, el estudio se concentra en el análisis del perfil metabólico de las canteras extractivas para el año de 1976. Afectado por procesos sociales y culturales, el metabolismo se incrementa o disminuye, e inclusive redirige los flujos hacia otros lugares, lo que determina su sustentabilidad.

Teniendo en cuenta lo anterior, se considera al área de los cerros nororientales como un sistema socio-ecológico¹³, por cuanto es una unidad bio-geofísica que se encuentra interrelacionada con actores sociales e institucionales, en la cual se desarrollan procesos y dinámicas complejas, a su vez, son sistemas adaptativos por cuanto co-evolucionan con los grupos sociales que se encuentran inmersos en él (Glaser et al., 2008; Walker et al., 2002). Este sistema socio-ecológico está limitado espacialmente por el área de la reserva Forestal Protectora del Bosque Oriental de Bogotá ubicada en la localidad de Usaquén, dada por los siguientes límites:

Al sur la quebrada la Chorrera (a la altura de la calle 109), con la recientemente constituida Reserva Forestal Regional Productora del Norte de Bogotá Thomas Van der Hammen en el norte (G. I. Ardila & CAR, 2010), el municipio de La calera al oriente y la carrera séptima de Bogotá al occidente como se ilustra en la Figura 2.

A nivel temporal, el periodo definido para el análisis histórico ambiental, está comprendido entre los años de 1897 y 2012, mientras, para el análisis de flujos de materiales y energía se centrará en el año de 1976, en el cual es un hito donde se desarrollan diversas acciones que cambian posteriormente su uso. En cuanto a la escala, el estudio se concentra en las actividades de las explotaciones de materiales de construcción (Canteras), en particular de derivados pétreos.

Para el desarrollo de este análisis se utiliza el enfoque teórico y metodológico del metabolismo socio-ecológico, y como metodología para el cálculo de los flujos de materiales y energía, se usa el *Material Flow Analysis (MEFA)*, el cual es una técnica sistemática para la evaluación de los flujos y stocks de materiales dentro de un sistema,

¹³ Para mayor información ver Glaser et al. (2008); Holling (2001); Walker et al. (2002),

en este caso socio-ecológico ((P. H. Brunner & Rechberger, 2004; Schandl, Grünbühel, Haberl, & Weisz, 2002). Los flujos de materiales y de energía permiten generar, para un determinado momento en el tiempo, comúnmente un año, un perfil metabólico. En otras palabras, un análisis, del volumen total de materiales y energía transformados por un grupo social, clasificados de acuerdo al tipo de material, entre los cuales se encuentran agua, biomasa, minerales, entre otros (Fischer-Kowalski & Weisz, 1999).

Finalmente, estos flujos de materiales se representan usando una herramienta gráfica, que permite modelar la cantidad de flujo de acuerdo a su proporción dentro del sistema, estos gráficos se denominan diagramas Sankey¹⁴. Estos, fueron desarrollados hace más de 100 años por el ingeniero irlandés Riall Sankey para analizar la eficiencia térmica de los motores de vapor y desde entonces se usan para representar balances de energía y materiales de sistemas complejos (Schmidt, 2008).

Hay que considerar las limitaciones en cuanto a fuentes de información y datos para la realización del perfil metabólico, por cuanto, las instituciones responsables por el seguimiento y control de las actividades mineras no están cumpliendo con su función de registro de la extracción, transformación, distribución y disposición de los materiales explotados por las empresas. Es así, como en el presente estudio se analiza el año 1976, ya que posee los datos más consolidados para el análisis del metabolismo socio-ecológico presente.

¹⁴ Puede encontrar ejemplos de diagramas Sankey en <http://www.sankey-diagrams.com>.

2. El metabolismo Socio-ecológico como herramienta teórica y metodológica para el análisis de la sustentabilidad de sistemas rural-urbanos

La creación del estado del arte para esta investigación se genera a partir del estudio de la sustentabilidad en la Ciudad de Bogotá, para continuar con estudios a diferentes escalas bajo el enfoque teórico del MSE en comunidades locales, ciudades y regiones. Teniendo en cuenta el análisis de la sustentabilidad, en los sistemas socio-ecológicos con procesos de urbanización, es apremiante generar alternativas sustentables a nivel local para la habitabilidad de los territorios.

2.1 Bogotá y sus flujos metabólicos

La ciudad de Bogotá, capital de la República de Colombia, actualmente posee una población de 8 millones de habitantes¹⁵, población que genera una constante presión sobre los ecosistemas de los cuales actualmente depende (G. I. Ardila, 2011a; Carrizosa, 2008) y un gran riesgo por las consecuencias del cambio climático sobre la sabana de Bogotá. Sin embargo, para el análisis y la generación de las dinámicas conducentes a la sustentabilidad de sus relaciones, es necesario considerar el concepto desarrollado por el ecólogo Thomas van der Hammen, de *Estructura Ecológica Principal (EEP)*, el cual, establece la existencia de una red de espacios para la conservación y recuperación ecológica del territorio, entre ellas parques urbanos, corredores ambientales en la ronda de los ríos y zonas de conservación tanto a nivel nacional, regional como local (Hammen & Andrade, 2003).

¹⁵ De acuerdo a las proyecciones del censo del DANE de 2005.

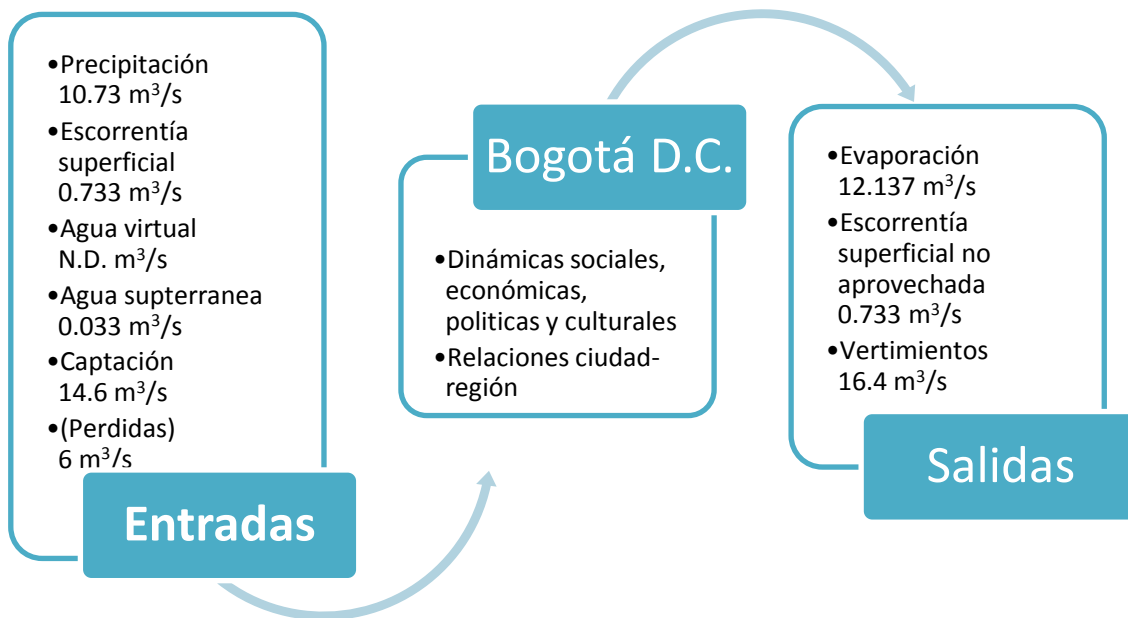
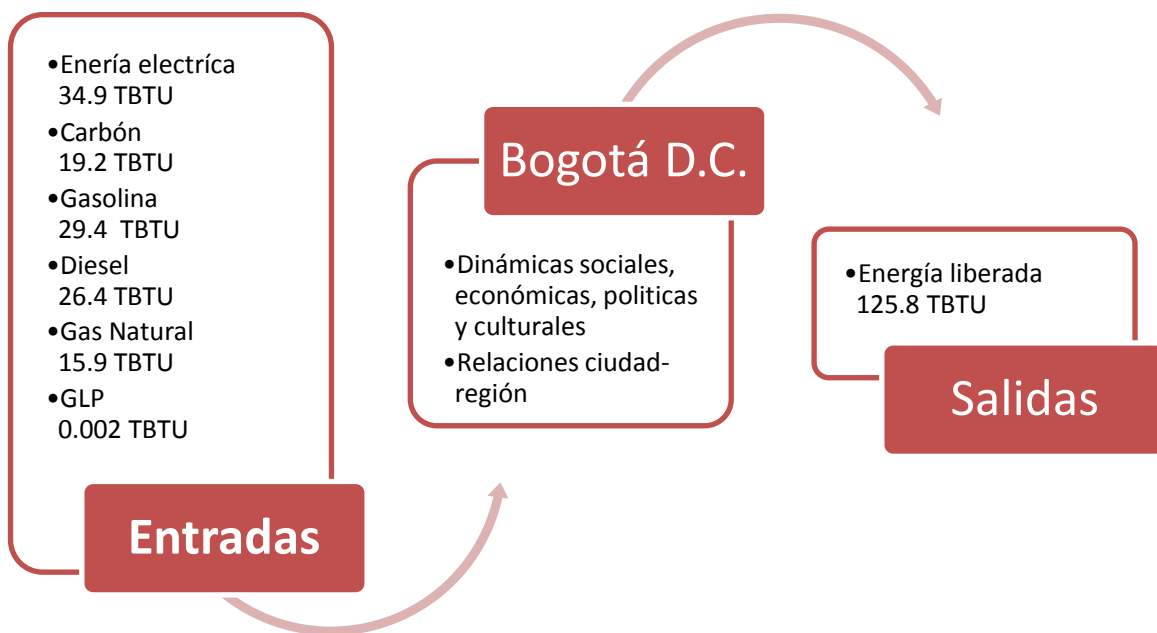
De acuerdo a esto, el Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá, adoptado mediante el Decreto 619 del 28 de Julio de 2000, establece una Estructura Ecológica Principal, de la cual hacen parte los Cerros Orientales, cuya finalidad es la conservación y recuperación de los recursos naturales, como la biodiversidad, agua, el aire y, en general, del ambiente deseable para el hombre, la fauna y la flora. Algunos autores como Marquez y Valenzuela (2008) y Andrade, Mesa, Ramírez y Remolina (2008), hacen referencia a la relación entre la EEP y la ordenación del territorio. En el año 2012, después de al menos 10 años de solicitarse, se crea la Reserva Forestal Thomas Van der Hammen, en la zona norte de la ciudad, con lo cual se genera un corredor ambiental entre los cerros nororientales y el cerro de la conejera (G. I. Ardila, 2010, 2011b) .

La sustentabilidad de las dinámicas que se desarrollan en la ciudad de Bogotá desde la perspectiva del MSE, ha sido investigado por Díaz (2011)¹⁶, donde calcula los flujos de materiales, energía y agua para los años de 1980, 2010; y realiza una proyección del año 2025 para la ciudad. Como resultado de este proceso, se concluye de manera acertada la preocupación por la insustentabilidad de las dinámicas económicas y sociales que se dan en la actualidad en la capital Colombiana.

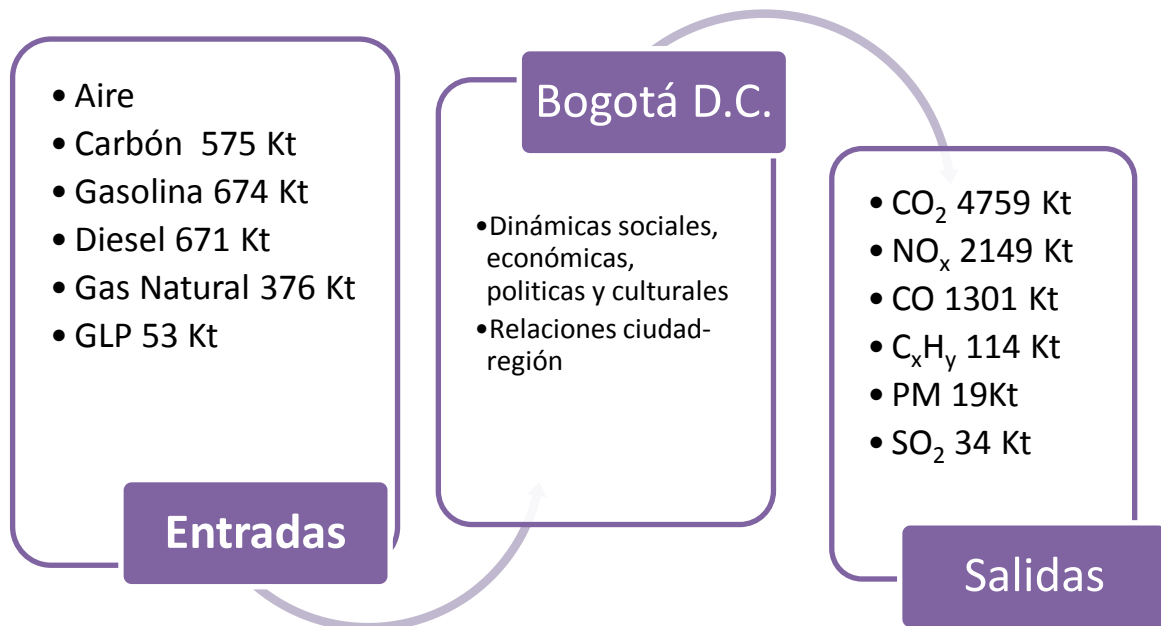
Cuadro 4. Metabolismo de la ciudad de Bogotá en 2010

La ciudad de Bogotá fue estudiada en perspectiva metabólica en el año 2010 por Cristian Díaz, en su trabajo, analiza cuatro elementos (Agua, Energía, Combustibles fósiles y Alimentos) para 2010, a continuación se presentan una serie de diagramas, sintetizando sus resultados de investigación:

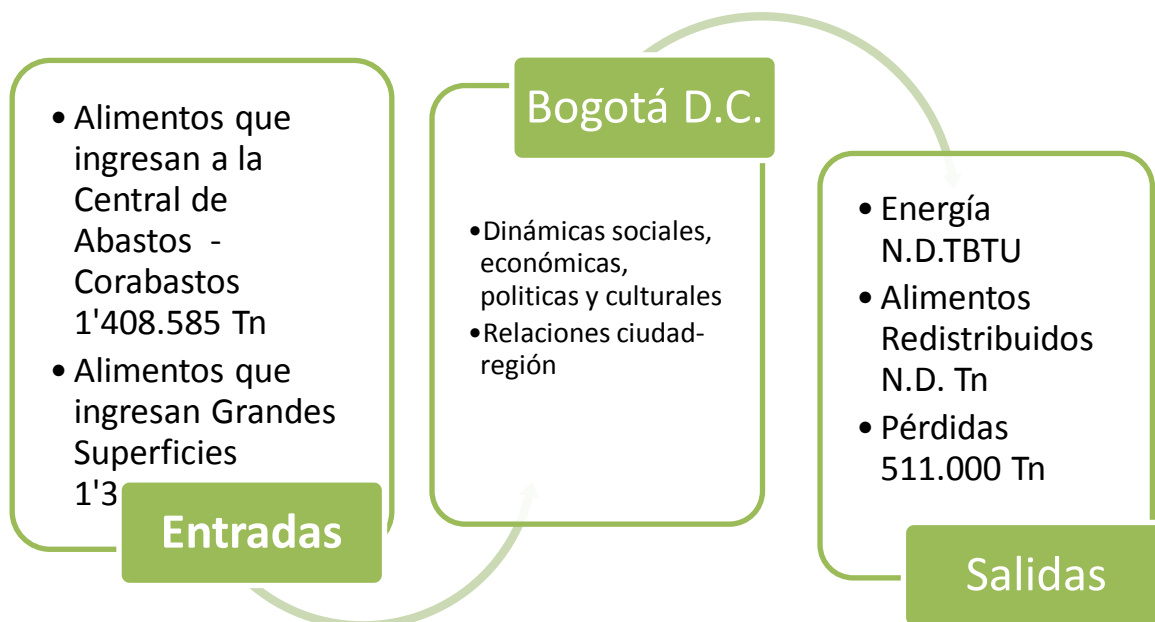
¹⁶ Para revisar el proceso de determinación de los flujos hídricos, de energía, de combustibles fósiles y de alimentos, revisar la memoria de cálculo de la tesis de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad Nacional de Colombia.

Agua**Energía**

Combustibles fósiles



Alimentos



Otra área de indagación es el metabolismo hídrico¹⁷, que en el trabajo de Díaz, las características principales son: el consumo, las pérdidas y la cantidad de agua virtual¹⁸ que cruza el territorio. Así mismo, la deforestación, la contaminación de fuentes hídricas y el cambio climático comprometen el abastecimiento de los centros urbanos, no solo en términos de cantidad sino, de la misma forma en calidad. Por otra parte, en el análisis de los flujos de energía en la ciudad, se observa un gran consumo energético sostenido en fuentes como la energía eléctrica, el carbón, la gasolina, el diesel y el gas natural, con lo cual se liberan al aire grandes cantidades de gases de efecto invernadero.

Así mismo, el autor realiza un análisis del metabolismo de los alimentos, es decir, el flujo de productos agrícolas que se consumen y distribuyen desde la capital del país hacia otras ciudades. Para el año 2010, la cantidad de alimentos que ingreso fue de 1´408.585 toneladas a la Central de Abasto Corabastos –la principal de la ciudad- y 1´391.415 toneladas a los almacenes de grandes superficies. Esta cantidad de alimentos evidencian las relaciones de dependencia de la ciudad con las regiones rurales del país y su área circundante.

Es evidente por tanto, el panorama alarmante en la actualidad, no solo de la ciudad de Bogotá, sino de todos los sistemas socio-ecológicos urbanos, ya que, el nivel de consumo de recursos materiales y energéticos aumenta con los años y la presión sobre los servicios ecosistémicos de soporte va deteriorando fuentes de agua, cuencas, humedales, el aire y los bosques.

2.2 El interés por el análisis del Metabolismo Urbano

La ciudad como escenario de estudio para el Metabolismo, se inicia con el análisis generado por Wolman en el año de 1965. Desde esta fecha, alrededor de unos 80 estudios del metabolismo urbano en diversas escalas (Barrios, Villas, Ciudades y Regiones) se han llevado a cabo, (como se pueden observar en las tablas 1, 2 y 3). Desarrollados desde diversos enfoques, se reconocen en estos principalmente dos metodologías: El enfoque predominante está en los estudios cuantitativos (Contabilizar

¹⁷ Término usado para designar el estudio del Metabolismo del agua en sistemas socio-ecológicos.

¹⁸ Se conoce como agua virtual el contenido de agua en productos manufacturados y agrícolas que intervienen en los flujos de los sistemas sociales (Allan, 1997).

los flujos de materiales y energía), en lugar de los trabajos que involucran tratamientos cualitativos donde integran diversas visiones a este enfoque teórico, entre ellas se encuentra el estudio generado por Heynen et al. (2006) de ecología política urbana y el trabajo de Tarr (2002) de historia ambiental urbana.

En el estudio de Wolman (1965), este autor usa datos e información del consumo de alimentos, uso del agua, y combustibles, en conjunto con las tasas de producción de contaminantes de aguas residuales, de aire y de residuos a nivel nacional. Para determinar las tasas per cápita de entrada y de salida de una ciudad hipotética de un millón de personas en Estados Unidos. Su acercamiento inicial a la determinación de flujos de materiales es pionero, inclusive, con la omisión de importantes insumos como los son, la electricidad y los materiales de construcción. Esto ayudó a centrar la atención de los impactos del consumo de bienes y la generación de desechos en el entorno natural de todo sistema urbano. Gracias a esta obra se han generado diversas preocupaciones por la sustentabilidad de ciudades y regiones en un mundo donde la población urbana sigue en aumento.

También, durante la década de 1970, los miembros de la corriente de ecología de sistemas, principalmente bajo el liderazgo de Odum, estudiaron el metabolismo urbano desde una perspectiva ligeramente diferente. La escuela de Odum se orienta principalmente a describir el metabolismo en términos de equivalentes de energía solar (emergía). En este marco, utilizando las formulaciones del ecólogo Odum, Zucchetto (1975), realizó un estudio del metabolismo urbano de Miami. Mientras, H. T. Odum (1983), aplicó su método a los datos presentados por Stanhill (1977) para la década de 1850 en París, produciendo en cierto sentido, el estudio más antiguo de metabolismo urbano. Aunque el enfoque de Odum, para el estudio del metabolismo urbano no se ha convertido en la corriente principal, si ha sido base para el análisis de otras ciudades, a través de la obra de Huang, principalmente para Taipéi (S.-L. Huang & Hsu, 2003; S. Huang, 1998), y de Zhang, Yang y Yu (2009) para Beijing.

Los estudios seguidos sobre metabolismo urbano se realizaron en la década de 1970. De hecho, los tres primeros estudios, Tokio (Hanya & Ambe, 1976), Bruselas (Duvigneaud & Denayeyer-De Smet, 1977) y Hong Kong (S. Boyden, Millar, Newcombe, & O'Neill, 1981; K Newcombe, Kalina, & Aston, 1978) se llevaron a cabo por ingenieros químicos, ecólogos e ingenieros civiles, respectivamente, registrando el carácter interdisciplinario

de este enfoque de investigación (Christopher Kennedy et al., 2011). Hay que mencionar que el estudio desarrollado por Duvigneaud y Denayeyer-De Smet, por primera vez considera el sistema biótico de la ciudad de Bruselas dentro de los flujos.

Durante los años de 1980 y los inicios de 1990, el progreso en el estudio de metabolismo urbano fue modesto. Hubo un simposio internacional sobre Metabolismo Urbano, llevado a cabo en Kobe (Japón) en el año de 1993, pero pocos de los trabajos fueron publicados. Una excepción fue la publicación de Bohle (1994), el cual considera el potencial de usar esta perspectiva, para examinar el sistema de alimentación urbano en países en desarrollo. En este sentido, se vincula al metabolismo, más allá de una metodología de medición de flujos, para ser un enfoque hacia la sostenibilidad. Por su parte Girardet (1992), analiza estas relaciones de la conexión clave entre el metabolismo urbano y el desarrollo sostenible de las ciudades.

2.2.1 Metodologías

Durante la década de 1990 se avanzó en el desarrollo del método de análisis de flujo de materiales (Materia Flow Analysis – MFA-), que incluyó la aplicación en las ciudades o en otros sistemas. A diferencia de enfoque Odum en emergencia, el MFA da cuenta de cantidades y flujos de recursos en términos de masa o volumen. A modo de ejemplo, en las directrices de EUROSTAT para MFA, las cantidades de combustibles fósiles se presentan en unidades de miles de toneladas o kilo toneladas por año. El trabajo de P. Brunner, Daxbeck y Baccini (1994), sin embargo, basándose en los estudios de metabolismo anteriores de la década de 1970, permite entender el flujo de energía en términos de julios, con los flujos de agua, materiales y nutrientes de una ciudad expresados en los flujos de masa. Este es sin duda el enfoque de la escuela predominante del metabolismo urbano.

Desde la perspectiva de la sustentabilidad profunda, hay un cierto mérito al enfoque de emergencia de Odum, pero la escuela predominante de metabolismo urbano utiliza unidades más prácticas. El enfoque de Odum y compañeros de trabajo es un intento de aplicar la teoría del valor biofísico, que es aplicable tanto a los sistemas ecológicos y económicos (S. Huang, 1998). Reconoce que hay una variación en la calidad de las diferentes formas de energía, por ejemplo, los combustibles, la electricidad y la energía solar, logran diferentes cantidades de trabajo. Por lo tanto, las unidades conocidas como equivalentes

de energía solar se utilizan como una métrica universal. La escuela predominante del metabolismo urbano, sin embargo, sólo utiliza las unidades que los funcionarios de los gobiernos locales utilizarían, reconocerían y entenderían, por ejemplo, en departamentos de gestión de agua, de gestión de residuos sólidos, o servicios públicos, etc.

El trabajo de Newman sobre el metabolismo de Sídney, se llevó a cabo como parte de un informe del Estado del Medio Ambiente (SOE) de Australia (Newman, 1999). Este autor propuso un modelo de metabolismo ampliado, que incluye indicadores de las actividades de salud, empleo, ingresos, educación, vivienda, ocio y de la comunidad. Las conexiones entre el metabolismo urbano y la calidad de vida han sido posteriormente continuados por otros investigadores australianos (Lennox & Turner, 2004; Stimson et al., 1999).

Christopher Kennedy et al. (2007) llevó a cabo una revisión de los estudios de metabolismo urbano con un enfoque en el incremento del metabolismo. Incorporando para esto, los análisis del área metropolitana de Toronto (Halla R Sahely, Dudding, & Kennedy, 2003), Ciudad del Cabo (Gasson, 2002), y Londres (CIWM, 2002), con estudios anteriores. Esta revisión generó como resultado, que el metabolismo de estas ciudades está aumentando. De la misma forma, destacó la importancia de comprender los cambios, transiciones en los flujos dentro del metabolismo urbano. Los procesos de acumulación, como el agua en los acuíferos urbanos y su calidad, la extracción de los materiales de construcción, el calor almacenado en los tejados y aceras, y los nutrientes depositados en el suelo o en los sitios de desechos, deben ser manejados apropiadamente con el objetivo de disminuir la carga que la ciudad tiene sobre los ecosistemas que le sirven de soporte y los servicios ecosistémicos que los habitantes disfrutan.

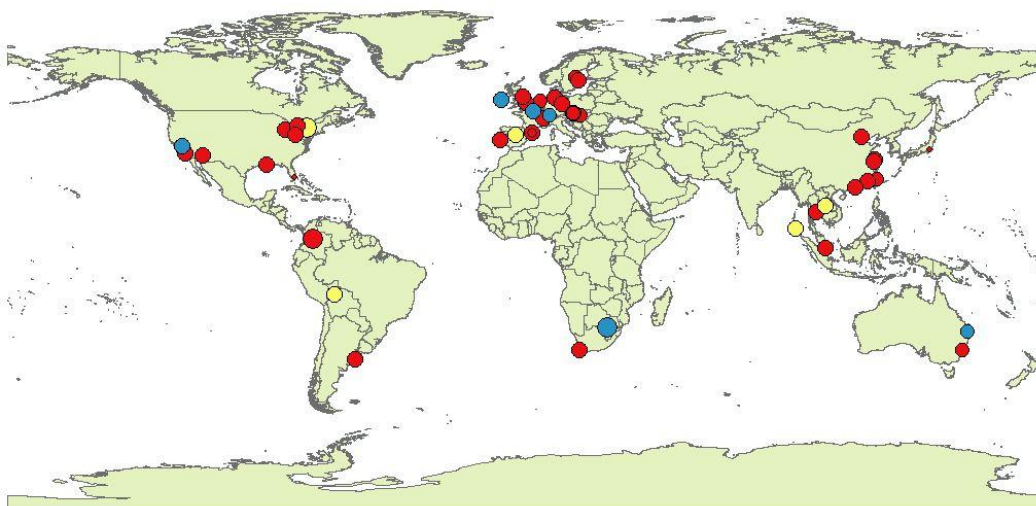
Los estudios de los nutrientes (o de elementos químicos) dentro del metabolismo urbano se encuentran entre los menos comunes, se centran en sustancias individuales. Dos nutrientes esenciales: nitrógeno y fósforo, se estudiaron para Bangkok (Færge, Magid, & Penning de Vries, 2001), Estocolmo (Burstrom, Frostell, & Mohlander, 2003) y Hong Kong (Ken Newcombe, 1977). En cuanto al agua, un elemento fundamental para la vida humana y para los ecosistemas, se han desarrollado estudios como los de: Hermanowicz y Asano (1999), M Gandy (2004), Thériault y Laroche (2009), H.R Sahely y Kennedy (2007), Baker (2009) y Loreto (2012).

Otros estudios se han centrado principalmente en la existencia y los flujos de materiales urbanos. Estos incluyen estudios de Lisboa (Niza, Rosado, & Ferrao, 2009), Singapur (Schulz, 2007), y York, Reino Unido (Barrett, Vallack, Jones, & Haq, 2002). Por otra parte, M. Hammer y Giljum (2006) cuantificaron los flujos de materiales para tres ciudades, en este caso Hamburgo, Viena y Leipzig. Algunos investigadores han estudiado materiales específicos, tales como algunos metales, reconociéndolas como cargas ambientales, pero también los recursos potenciales del futuro (R. Obernosterer, 2002; Richard Obernosterer & Brunner, 2001; Sörme, Bergbäck, & Lohm, 2001; Svidén & Jonsson, 2001). Otros estudios de flujo de materiales, acerca de medidas de eficiencia en el metabolismo urbano, son para Shenzhen, China (Zhang & Yang, 2007) y Limerick, Irlanda (Browne, O'Regan, & Moles, 2009).

Ha habido un creciente número de investigaciones sobre el metabolismo urbano en los últimos años. Un trabajo más amplio ha vinculado al metabolismo urbano y la apropiación de los ecosistemas por las ciudades (Folke, Jansson, Larsson, & Costanza, 1997), y la acumulación de materiales tóxicos en los edificios urbanos (P. H. Brunner & Rechberger, 2001). Hay gran variedad en el ámbito de la investigación, Deilmann (2009) estudia los atributos espaciales del metabolismo urbano a nivel de superficie. Así mismo se encuentran dos proyectos internacionales de investigación de metabolismo urbano, financiados recientemente bajo el séptimo marco de la Unión Europea, estos son, SUME (Schremmer & Stead, 2009) y BRIDGE (Chrysoulakis, 2008).

2.2.2 Aplicaciones

Desde la concepción pionera de Wolman, el metabolismo urbano se ha estudiado por preocupaciones y problemáticas ambientales, que ya empezaban a evidenciarse en las ciudades de la época. En particular, Wolman estaba interesado por la contaminación del aire y otros residuos producidos en las ciudades de Estados Unidos. Hay aplicaciones prácticas a nivel local, municipal y regional, en la Figura 6 se observa la distribución de los estudios de metabolismo urbano a nivel global. Donde los puntos del color amarillo representan estudios locales, los de color rojo estudios municipales y los de color azul son estudios regionales, caracterizados por la escala de análisis y la delimitación de sus fronteras.

Figura 6 Estudios de Metabolismo Urbano a nivel regional, municipal y local.

Fuente: Elaboración propia

▪ A nivel local

Se caracterizan por estudiar el metabolismo en comunidades indígenas, ecosistemas apropiados por la ciudad o barrios al interior de las ciudades. Aunque disimiles entre ellos, la escala de análisis y la complejidad de estos son similares. Correspondidas por poblaciones de cientos de personas hasta llegar a unos cuantos miles y por áreas pequeñas. A continuación en la Tabla 3, se muestran los estudios de MU a escala local en orden cronológico encontrados en la revisión de literatura para este estudio.

Tabla 3. Estudios de Metabolismo Urbano a nivel local

Autor (Año)	Ciudad o Región de estudio	Continente	Notas Contribución
Simron Singh, Grübübel, Schandl y Schulz (2001); Simon Singh y Grübübel (2003)	Isla Trinket , India	Asia	Estudio por medio del metabolismo social de la Isla Trinket
Grübübel et al. (2003)	Villa Sang Saeng, Tailandia	Asia	Estudio de metabolismo social en una comunidad del norte de Tailandia.
Codoban y Kennedy (2008)	Toronto, Canadá	Norteamérica	Estudio del metabolismo urbano en cuatro barrios.
Fischer-Kowalski et al. (2010)	4 Villas	Asia, Suramérica	
Ringhofer (2010)	Campo Bello, Bolivia	Suramérica	Estudio en una villa de la amazonia boliviana
Hall (2011)	Syracuse, Nueva York EEUU	Norteamérica	Estudio de Metabolismo Socio-ecológico en tres barrios del cinturón.
Oliveira, Stingel y Berck	Rio de Janeiro, Brasil	Suramérica	Estudio histórico del

(2011)			metabolismo social en las carboneras de Rio de Janeiro,
Moore, Kissinger y Rees (2013)	Metro Vancouver	Norteamérica	

Fuente: Elaboración propia

▪ A nivel municipal

Se caracterizan por estudiar el metabolismo en ciudades con las fronteras en las divisiones político-administrativas de cada sistema urbano. La escala de análisis y la complejidad de estos, aumentan con respecto a los análisis locales. Correspondidas por poblaciones de cientos de miles de habitantes y por áreas de acuerdo a las fronteras de los municipios. A continuación en la Tabla 4, se muestran los estudios de MU a escala municipal en orden cronológico.

Tabla 4. Estudios de Metabolismo Urbano a nivel municipal

Autor (Año)	Ciudad o Región de estudio	Continente	Notas Contribución
Wolman (1965)	Ciudad Hipotética de EEUU de 1 Millón de habitantes	Norteamérica	Estudio Seminal
Zucchetto (1975)	Miami, Florida EEUU	Norteamérica	Enfoque Emergía
Stanhill (1977)	Paris en 1850	Europa	Enfoque Emergía
Hanya y Ambe (1976)	Tokio, Japón	Asia	
Duvigneaud y Denayeyer-De Smet (1977), Charruadas (2012)	Bruselas, Bélgica	Europa	Incluye un balance de la energía natural
Ken Newcombe (1977)	Hong Kong	Asia	Balances de nutrientes
K Newcombe et al. (1978)			
S. Boyden et al. (1981)			
Warren-Rhodes y Koenig (2001)			
Pares, Pou y Terradas (1985), Marulla, Pinob, Tello y Cordobillaa (2010), Tello (2012)	Barcelona, España	Europa	
J. M. Naredo y Frías (1987); J. Naredo y Frías (2003)	Madrid, España	Europa	
Nilson (1995)	Gävle, Suecia	Europa	Estudio del fosforo
Daxbeck et al. (1996), Richard Obernosterer et al. (1998), Hendriks et al. (2000), Richard Obernosterer y Brunner (2001), Gingrich, Haidvogl y Krausmann (2012)	Viena, Austria	Europa	Varios enfoques
S. Huang (1998)	Taipéi, China	Asia	Enfoque Emergía
S.-L. Huang y Hsu (2003)			
István Pomázi y Szabó (1998)	Budapest, Hungría	Europa	
István Pomázi y Szabó (2008)			
Newman (1999)	Sídney, Australia	Oceanía	
Stimson et al. (1999)	Brisbane-Southeast Queensland, Australia	Oceanía	Calidad de vida

Gorree, Kleijn y Van der Voet (2000)	Ámsterdam, Holanda	Europa	
Baker, Hope, Xu, Edmonds y Lauver (2001)	Phoenix, Central Arizona EEUU	Norteamérica	Balance de Nitrógeno
Sörme et al. (2001); Svidén y Jonsson (2001); Burstrom et al. (2003)	Estocolmo, Suecia	Europa	Análisis de metales pesados
Færge et al. (2001)	Bangkok, Tailandia	Asia	Análisis de Nitrógeno y fósforo
Melaina y Keoleian (2001)	Ann Arbor, Michigan EEUU	Norteamérica	Energía
CIWM (2002), Keene (2012)	Londres, Reino Unido	Europa	
Gasson (2002)	Cape Town, Suráfrica	África	
Barrett et al. (2002)	York, Reino Unido	Europa	Materiales
Tarr (2002)	Pittsburg, EEUU	Norteamérica	Estudio Histórico
Halla R Sahely et al. (2003), Forkes (2007)	Toronto, Canadá	Norteamérica	*Metabolismo alimenticio enfocado en el nitrógeno
Emmenegger, Frischknecht, Cornaglia y Rubli (2003)	Ginebra, Suiza	Europa	
M. Hammer, S. , Giljum y Hinterberger (2003)	Hamburgo, Alemania	Europa	
Yan, Liu y Huang (2003); Zhang y Yang (2007)	Shenzhen, China	Asia	
Yu y Huang (2005)	Nantong, China	Asia	
Schulz (2007)	Singapur, Singapur	Asia	Materiales
Kane y Erickson (2007), Swaney, Santoro, Howarth, Hong y Donaghy (2012)	New York, EE UU	Norteamérica	Análisis de política e historia de la distribución de agua.
Barles (2007), Barles y Lestel (2007), Barles (2009), Kim y Barles (2012), Lestel (2012)	Paris, Francia	Europa	
Quinn y Fernandez (2007)	Nueva Orleans, Luisiana EEUU	Norteamérica	Reconstrucción
Ngo y Pataki (2008)	Los Ángeles, California EEUU	Norteamérica	
Guerrero y Guiñirgo (2008)	Tandil, Argentina	Suramérica	Huella Ecológica
Idrus, Hadi, Harman y Mohamed (2008)	Seremban, Malasia	Asia	Ciudad habitable, calidad de vida
Fikar y Havránek (2009)	Praga, Republica Checa	Europa	Metabolismo energético
Zhang et al. (2009), Zhang, Yang, Liu y Yu (2011), Shengsheng, Zhang, Yang, Liu y Zhang (2012)	Pekín, China	Asia	Enfoque Emergía
Niza et al. (2009)	Lisboa, Portugal	Europa	Materiales
Aldo y Falcitelli (2009)	Palermo, Italia	Europa	MFA
Liu, Wang, Li y Zhang (2010), Yang, Gao, Xiao y Wang (2012)	Xiamen, China	Asia	Estudios Comparativos
Liang y Zhang (2011)	Suzhou, China	Asia	Desmaterialización y descarbonización
Diaz (2011)	Bogotá, Colombia	Suramérica	Alimentos, Combustibles y Agua
Loreto (2012)	Puebla, México	Norteamérica	Metabolismo hídrico
Stergiouli y Hadjibiros (2012)	Atenas, Grecia	Europa	Metabolismo hídrico
Reddy (2013)	Mumbai, India	Asia	Megaciudades

Fuente: Elaboración propia a partir de Christopher Kennedy et al. (2011)

▪ A nivel regional

Estos trabajos se caracterizan por analizar el metabolismo en regiones que incluyen varios municipios, las fronteras de estos sistemas en ocasiones son dadas por las divisiones político-administrativas al interior de un estado o por fronteras ambientales. Corresponden a poblaciones de cientos de miles de habitantes. A continuación en la Tabla 5, se muestran los estudios de MU a escala regional en orden cronológico encontrados en la revisión de literatura para este estudio.

Tabla 5. Estudios de Metabolismo Urbano a nivel regional

Autor (Año)	Ciudad o Región de estudio	Continente	Notas Contribución
P. Brunner et al. (1994)	Bünztal, Suiza	Europa	
Baccini (1997.)	Swiss Lowlands, Suiza	Europa	
Cusso et al. (2006)	Cataluña	Europa	Estudio histórico en un escenario agrario
Schremmer y Stead (2009)	Europa	Europa	Metabolismos urbanos sostenibles de Europa
Browne et al. (2009), Browne, O'Regan y Molesc (2012)	Limerick, Irlanda	Europa	Análisis de diferentes metodologías
Murtishaw, De la Rue, Price, Masanet y Sathaye (2005)	California, EEUU	Norteamérica	
GCRO (2011)	Gauteng City-Región, Suráfrica	África	En desarrollo

Fuente: Elaboración propia

▪ Estudios complementarios

Existen otros estudios que complementan visiones y enfoques integrales (Ver Tabla 6), inclusive, su foco a través del metabolismo socio-ecológico es análisis de superficie y sistemas alimenticios metropolitanos. Generan nuevos acercamientos y criterios de evaluación, los cuales aportan indicadores para la evaluación de la apropiación de los recursos materiales y energéticos.

Tabla 6. Otros recursos de Metabolismo Urbano

Autor (Año)	Ciudad o Región de estudio	Continente	Notas Contribución
Deilmann (2009)	Alemania	Europa	Análisis de superficie
Bohle (1994)	Países en desarrollo	Suramérica	Sistemas alimenticios metropolitanos

Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Producción mundial de estudios de Metabolismo Urbano

El interés a nivel global de las investigaciones en este campo se ha incrementado en los últimos años, soportado por países como China, Estados Unidos de América, y por grupos de países como los de la Unión Europea. Como se observa en la Tabla 7, en todos los continentes se están desarrollando investigaciones, sin embargo los retos para Suramérica, África y Oceanía son grandes, en vista de sus grandes urbes, la presión sobre sus ecosistemas, la concentración de la población en las ciudades y no menos importante el Cambio Climático.

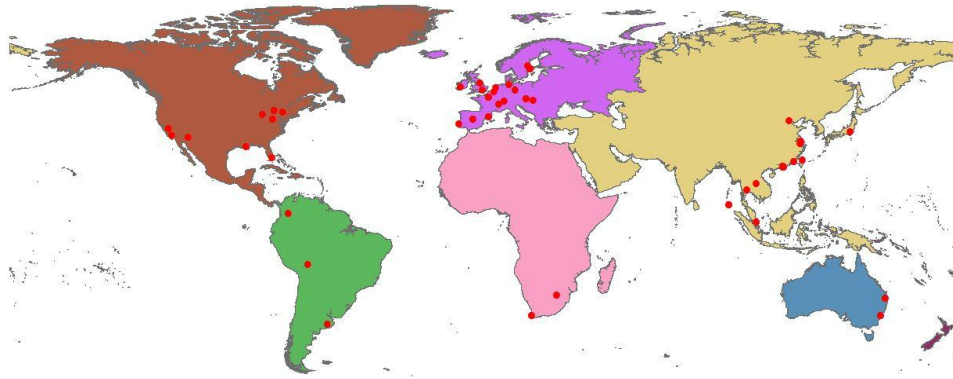
Tabla 7. Producción mundial de estudios en Metabolismo Urbano

Continente	Cantidad de estudios	Intereses	Observaciones
Oceanía	2	Metabolismo urbano a nivel municipal.	En Oceanía, Australia comprende todos los estudios, agregando la integralidad de los mismos al incluir otras variables sociales.
África	2	Metabolismo Urbano a nivel municipal, en especial en Suráfrica.	Suráfrica representa la totalidad de los estudios encontrados en este continente
Suramérica	6	Metabolismo Urbano a nivel local.	En general se han realizado estudios a nivel local, caracterizado por comunidades indígenas y un par de ciudades en Colombia y Argentina,
Asia	25	Metabolismo urbano a nivel municipal.	En Asia, el principal foco de investigación en esta área es China con cerca de 11 investigaciones, concentradas en sus principales urbes.
Norte y Centroamérica	16	Metabolismo urbano a nivel municipal.	En Norteamérica y Centroamérica, EEUU es tiene mayores estudios en el área.
Europa	41	Metabolismo urbano a nivel municipal y a nivel Regional.	Sin duda es el principal productor de investigaciones a nivel mundial, incluso tiene actualmente proyectos transversales de investigación en varias de sus ciudades.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, las características propias de los estudios hacen que haya una diversidad de enfoques y preocupaciones, además de una concentración en algunos lugares, tal como se observa en la Figura 7, regiones como Europa y países como Estados Unidos y China, han realizado gran cantidad de estudios. En este sentido, es necesario aumentar las investigaciones, generar redes de conocimiento, en especial la estandarización de metodologías, fuentes e indicadores para buscar comparabilidad.

Figura 7 Estudios de Metabolismo Urbano por continente



Fuente: Elaboración propia

2.3 Los indicadores de Sustentabilidad y el futuro del estudio del MSEU

Gran parte de los estudios realizados formulan una serie de indicadores de sostenibilidad, que en síntesis miden el uso de los recursos (tanto materiales como energía), de un tiempo y en un determinado escenario. A nivel general esta perspectiva ha incluido información sobre la eficiencia energética, el ciclo de materiales y de nutrientes, la gestión de residuos y el agua en los sistemas socio-ecológicos urbanos. Los indicadores del metabolismo urbano cumplen a nivel general con los criterios de los indicadores de sostenibilidad, tal como lo indica Maclaren (1996), estos son: Validez científica (basada en los principios de conservación de la energía y la masa), son representativos, responsables, dirigidos a planificadores urbanos y generadores de políticas públicas, y finalmente sobre datos que son comparables en el tiempo, y sin ambigüedades.

Con el tiempo, el conocimiento sobre metabolismo urbano va creciendo en número de estudios y fortaleciéndose en calidad y discusiones. En este trabajo se han hecho

referencia a más de 80 estudios desde escalas locales a regionales, incluso otros que aportan nuevas dimensiones a las corrientes representativas de este nuevo campo de investigación. Así mismo, se encuentran estudios que analizan por separado componentes característicos del MU, tal como energía, agua, nutrientes, metales, entre otros. Todos ellos aportan información cuantitativa sobre dinámicas urbanas y sus procesos internos, así como sus relaciones externas, en diferentes puntos en el tiempo, algunos son estudios en años específicos y otros analizan periodos de tiempo. Sin embargo, hay mucho por aprender y analizar, para construir mayor entendimiento, en especial estudios comparativos y transversales, así como estudios históricos de las relaciones entre la urbe y su entorno natural (Christopher Kennedy et al., 2011).

De acuerdo a Barles (2010), un gran porcentaje de las investigaciones sobre Metabolismo Urbano es llevada a cabo por comunidades de nuevos campos teóricos, tal como la Ecología Industrial¹⁹, la cual en un inicio estudió los flujos de materiales y energía en sistemas industriales, para ampliarse a sistemas sociales tales como comunidades, ciudades o regiones. Por su parte Christopher Kennedy et al. (2011), manifiesta algunas necesidades de investigación futura del MU debatidas en un congreso de Ecología Industrial desarrollado en el Massachusetts Institute of Technology en enero de 2010, entre ellas se puede ubicar las siguientes:

- Trabajar en la relación entre el metabolismo urbano y la pobreza urbana.
- Voluntad para recoger y combinar datos de consumo de energía de las ciudades del mundo.
- Desarrollo de un sistema de clasificación estándar para los stocks y flujos en el metabolismo urbano.

Otra dirección importante y necesaria en el futuro, es una mayor integración de lo social, la salud y los servicios ambientales en el marco del metabolismo urbano. Otros autores, tales como Newman (1999), quien ha propuesto previamente, que los indicadores sociales se integren en el metabolismo urbano. En este caso, el alto consumo de gasolina y combustibles fósiles, y las altas tasas de obesidad está relacionado con un estilo de vida auto-dependiente.

¹⁹ Campo de estudio innovador, que analiza los sistemas industriales en analogía a los ecosistemas, para buscar la optimización del uso de recursos y energía entre los miembros del sistema.

3. Los cerros nororientales de Bogotá como escenario de transiciones socio-metabólicas

Las industrias extractivas, en especial las empresas de explotación de derivados pétreos se ubican en los cerros orientales de la sabana de Bogotá, por lo cual, antes de entrar a analizar el perfil metabólico de estas actividades se procede a realizar una caracterización de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá (RFPBOB), como área de conservación nacional, basada en el Plan de Manejo Ambiental realizado por la CAR (2006) y en los ajustes al plan elaborado por la CAR (2010), seguido de unas breves notas para la historia ambiental de esta sierra. No se debe olvidar que el escenario de análisis es la zona de la reserva ubicada en la localidad de Usaquén, al norte de la ciudad, sin embargo, las dinámicas e hitos históricos son transversales a toda la reserva.

3.1 Características de la zona de Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá – Usaquén

La reserva se encuentra localizada en la República de Colombia (Sur América), en el departamento de Cundinamarca, ciudad de Bogotá D.C., se extiende desde el sur en las coordenadas 986.000 N y 998.000 E, desde las quebradas el Amoladereo y la Yomasa, tributarias del río Tunjuelo, luego sigue integrando las cuencas de los ríos San Cristóbal y San Francisco. La zona norte de la reserva se establece a partir de la cuenca del río Arzobispo hasta la cuenca de la quebrada Torca, aproximadamente desde las coordenadas 1,002.000 N y 1,002.000 E hasta las coordenadas 1.024.000 N y 1.006.000 E (Ver Anexo cartográfico A Los cerros orientales en el territorio). Estas últimas cuencas tienen un régimen de lluvias de tipo bimodal, en respuesta a las condiciones climáticas de la región de la Sabana de Bogotá. La altura máxima se encuentra circunscrita en la cuenca de la quebrada La Vieja, por encima de la cota 3.300 msnm y alturas mínimas

sobre la cota 2.600 msnm, en las cuencas de las quebradas Torca, La Floresta y Escorrentías en el límite noroccidental de la zona de análisis (CAR, 2010).

3.1.1 Delimitación de la zona de reserva forestal protectora

A continuación se presentan los principales aspectos y actos administrativos que definen la delimitación de la RFPBOB. El 30 de septiembre de 1976 el Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables, (INDERENA), mediante el Acuerdo 30 de 1976 y en usos de sus facultades legales y estatutarias, declaró y alinderó esta zona como reserva forestal y delegó funciones para su administración en la Corporación Ambiental Regional (CAR)²⁰. Acto seguido el Ministerio de Agricultura, por medio de la Resolución Ejecutiva No. 76 de 1977, declara los linderos de la reserva y queda asumida como normatividad nacional.

Sin embargo, con el paso de los años la CAR, institución que administra la reserva, ha sustraído algunas áreas de la misma, a continuación se presentarán algunas de ellas:

Tabla 8. Sustracciones a la Reserva Forestal

Sustracciones	Acto Administrativo	Área (Ha)
San Luis, San Isidro, La Sureña	Resolución No 2337 del 6 de agosto de 1985	130
Parque Nacional	Acuerdo 17 del 5 de junio de 1990	74
Parque Nacional	Acuerdo 18 del 5 de junio de 1990	114*
Puente Chicó	Resolución No 2413 del 17 de junio de 1993	284
Total		602

* Valor estimado

Fuente: Tomado de Planeación Ecológica Ltda (2006)

Estas sustracciones, un total de 602 hectáreas, se han realizado por varios motivos, entre los cuales se encuentran: ordenación y consolidación urbanística en un sector ocupado de hecho (Barrios San Luis, San Isidro y La Sureña); desarrollo de infraestructura de recreación y de servicios de apoyo (Parque Nacional, 74 Ha), reubicación de familias que ocupaban terrenos en los predios en el sector oriental del Parque Nacional Olaya Herrera (114 Ha, valor estimado), y finalmente, con la idea de

²⁰ Las Corporaciones Autónomas Regionales, son entidades estatales que ejercen autoridad ambiental en su jurisdicción territorial, estas instituciones ejecutan políticas, planes, programas y proyectos ambientales. <http://www.car.gov.co>

evitar “invasiones” en el sector de Puente Chicó, producto de una posible expansión de los sectores ya sustraídos San Luis, San Isidro y la Sureña.

Finalmente, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en la Resolución 463 de 2005 estableció 5 zonas ambientales dentro del área de la reserva, que sumadas con el área de sustracción de San Luis, San Isidro y La sureña, comprenden un área total de la reserva de 14.116 Ha como se aprecia en la Tabla 9.

Tabla 9. Zonas ambientales

Zona	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Conservación	8.238	58,37%
Franja de adecuación o sustracción	842	5,96%
Rehabilitación ecológica	4.453	31,54%
Recuperación ambiental	353	2,50%
Recuperación paisajística	100	0,71%
San Luis, San Isidro, La Sureña	130	0,92%
TOTAL	14.116	100%

Fuente: Tomado de Planeación Ecológica Ltda (2006)

3.1.2 Caracterización ambiental

La caracterización ambiental de la reserva se procede a realizar de acuerdo con los estudios de la CAR (2006, 2010), centrándose en la zona norte de la reserva, por cuanto es de particular interés para el estudio.

- **Climatología**

La zona alta de la cuenca del río Teusacá, así como la cara occidental de la zona norte de la reserva, se rigen por el sistema de precipitaciones generado por la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT), la distribución temporal de las precipitaciones y los caudales son de tipo bimodal, presentando los valores más altos en los meses de abril y mayo en el primer semestre del año, en octubre y noviembre en el segundo semestre. La precipitación media anual es de 916 mm para esta zona.

En cuanto a la distribución espacial de la precipitación, está dada en franjas de norte a sur, con valores mínimos desde 600 a 900 mm por año, sobre las cuencas Torca y Floresta, mientras el resto de la localidad de Usaquén, registra valores entre 900 y 1000

mm por año. La temperatura media anual varía desde los 8.4 °C sobre la cota 3.100 m, a los 13.0 °C, por debajo de los 2.750 m (Ver Anexos C Isotermas y D Isoyetas).

- **Cobertura actual del suelo**²¹

Las coberturas con mayor área en la Reserva Forestal Protectora, son las plantaciones forestales de especies exóticas, con un área de 2.447,26 Ha, que corresponden a un 17.34% del total de la reserva forestal. Estas plantaciones se encuentran distribuidas especialmente a lo largo del borde occidental de la Reserva, es decir, la zona que se divide desde la ciudad de Bogotá. El segundo tipo de cobertura del suelo, lo constituye el bosque enano de subpáramo (Be), que posee en el año 2006 un área de 1.699.79 Ha, ocupando un 12.04% del área total. Este bosque se ubica, particularmente, en las cuencas altas de los ríos Tunjuelo, Fucha y Teusacá.

Sin embargo, algo preocupante es la pérdida de “coberturas naturales” que ha tenido lugar a lo largo de los años, especialmente en cuanto a extensión, ya que las plantaciones forestales y los pastos suman cerca del 27% del área de la reserva, proporción significativa para un área cuyo uso principal debe ser la conservación.

En este sentido, uno de los elementos importantes de la vegetación de la reserva, es la adecuación y mantenimiento de plantaciones forestales, actividad animada en gran parte por entidades estatales durante los años setentas y ochentas. De acuerdo a las cifras que la CAR (2006) posee, determinó que cerca del 17.34% de la Reserva Forestal Protectora, posee alrededor de 187 “parches”, cubriendo un área de 2.485 Ha. La mayor parte de las plantaciones son propiedad de particulares, que, gracias a expectativas generalizadas desean explotarlas de forma comercial y “sostenible”, aprovechándolas persistentemente. Las plantaciones están constituidas por cuatro especies, tal como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10. Principales especies en las plantaciones forestales

Nombre Común	Nombre Científico
Pino Patula	<i>Pinus patula</i>

²¹ La información de cobertura actual se basa en el mapa generado con foto identificación y fotointerpretación de aerofotografías del vuelo IGAC 2673, las cuales fueron tomadas en marzo de 2002 a escala promedio 1:27.000 (CAR, 2006).

Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>
Ciprés	<i>Cupressus lusitanica</i>
Acacia	<i>Acacia decurrens</i>

Fuente: Tomado de CAR (2006)

- **Flora**

El evidente gradiente altitudinal, los límites tanto inferior a 2600 m.s.n.m. y el superior a 3600 m.s.n.m., hacen que la heterogeneidad de los subsistemas flora y fauna sea creciente²².

- **Fauna**

A continuación, de acuerdo a Conservación Internacional (2007) se presentan las características más importantes de los grupos más significativos de fauna presentes en la reserva forestal. Se encuentran en los Cerros Orientales registros para Aves de 30 familias, 92 géneros y 119 especies; 14 familias, 17 géneros y 18 especies de mamíferos; 4 familias, 5 géneros y 5 especies de reptiles; y 4 familias, 6 géneros y 9 especies de anfibios.

3.1.3 Usos del suelo

Los usos del suelo fijan la ocupación de la Reserva Forestal y se relacionan con su dinámica de poblamiento, estos se inscriben en una clasificación que de acuerdo a CAR (2010) contemplan principalmente: la ocupación de vegetación nativa (ligeramente intervenida y fuertemente intervenida), plantaciones forestales, actividad agropecuaria, los desarrollos de vivienda, desarrollo de áreas institucionales, dotacionales y la actividad minera. En la Tabla 11 se presentarán las áreas de los usos del suelo para el año 2006.

Tabla 11. Ocupación territorial de los usos del suelo en la Reserva Forestal para 2006

Uso del Suelo	Área (Ha)
Vegetación nativa – Ligeramente Intervenida	5378,56
Vegetación nativa – Fuertemente Intervenida	3552,95
Plantaciones forestales	2485,56

²² Para mayor conocimiento de las especies consultar los estudios de la CAR (2006, 2010) y Cortés, Rangel y Serrano (2004).

Actividad agropecuaria	1778,41
Eriales (Por causa diferente a la minería)	6,20
Actividad minera	104,58
Asentamiento zona con vivienda	418,00
Zona de borde occidental	379,49
Otros, vías, cauces	9,68
Espejos de agua	2,25
TOTAL	14115,68

Fuente: Tomado de Planeación Ecológica Ltda (2006)

Las zonas de actividad minera (104,58 Ha) y de asentamiento de vivienda (418 Ha), aunque en reducida proporción son zonas de carácter especial que se abordará con atención en el presente estudio (Para Usaquén referirse al Anexo F, del uso del suelo para 1999).

Cuadro 5. Servicios ecosistémicos de los Cerros Orientales de Bogotá

Como síntesis de la descripción de las características ambientales de la reserva forestal protectora del bosque oriental de Bogotá, se presenta los servicios ecosistémicos, que, en su relación de interdependencia con los grupos sociales asentados en la capital del país los cerros brindan.

Los Servicios Ecosistémicos –SE-, de acuerdo a la UNEP (2003, p. 26), son: “*Los beneficios que las poblaciones obtienen de los ecosistemas. Estos incluyen servicios de aprovisionamiento como alimentos y agua; servicios de regulación como regulación de inundaciones, degradación del suelo; servicios de soporte como formación del suelo, ciclo de nutrientes; y servicios culturales como recreacionales, espirituales, religiosos y otros beneficios no materiales.*” He aquí los elementos que permiten entender los factores de los cuales dependen los grupos sociales que habitan este territorio. En la siguiente figura se presentarán los servicios que provee la RFPBOB.

Figura 8. Servicios ecosistémicos de la RFPBOB

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la figura anterior, la RFPBOB ofrece a los habitantes de la región de la sabana de Bogotá un sinnúmero de servicios desde aprovisionamiento para las comunidades que habitan sobre los cerros (Desarrollos progresivos y planificados), pasando por el control de la polución, un factor muy importante para una ciudad con 8 millones de habitantes y con el parque automotor creciendo, hasta el soporte a los ciclos hídrico y de nutrientes; y entre otros, con un valor espiritual que aún se conserva, así como el valor estético que todos los habitantes refieren. Estos cuatro grupos de servicios se complementan unos a otros, generando integralidad socio-ecología, en la cual si uno de los elementos es afectado, el sistema, en su conjunto se verá perturbado.

Sin lugar a dudas es fundamental este territorio en el bienestar de la población que habita la ciudad, sin embargo no se ha realizado hasta la fecha un estudio relacionando los servicios ecosistémicos prestados y el bienestar humano, de acuerdo a la metodología ofrecida por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2003, 2005).

▪ **Desarrollos urbanos en la zona de reserva forestal**

Los asentamientos urbanos en el área de reserva forestal se caracterizan por ser de tipo “Desarrollo Progresivo”²³, siendo estos, en su mayor parte de estratos bajos, estratos 1 y 2, e inclusive sin una asignación de estrato (conocido como estrato 0), o tipo de vivienda subnormal a normal, arreglo de vías no ordenado, generalmente en recebo o destapadas. Los servicios públicos de acueducto y alcantarillado son suministrados por la empresa oficial para el Distrito (EAAB) y por acueductos comunales y/o tanques comunales, los servicios de luz, de telefonía e internet, solo se encuentran en algunas áreas.

En cada una de las localidades en que la reserva se circunscribe, se puede evidenciar la distribución de asentamientos urbanos que van conformando barrios con características propias. En total se encuentran 61 barrios que corresponden a las cinco localidades en área de reserva forestal (CAR, 2006, 2010), poblados como se muestra a continuación en la Tabla 12.

Tabla 12. Población urbana asentada en el área de la reserva 2006.

Localidad	Población total	Población en el área de la reserva	Porcentaje de población
Usaquén	449.781	22.345	5,21%
Chapinero	121.404	8.996	7,41%
Santa fe	105.696	29.987	28,37
San Cristóbal	453.237	16.086	3,55%
Usme	259.188	13.560	5,23

²³ Generalmente este tipo de desarrollos urbanos se conocen como urbanización ilegal o informal los cuales no hacen parte de la planeación territorial de las ciudades, en este estudio se utilizará el concepto de desarrollo progresivo, por cuanto no se genera un juicio de valor acerca de los procesos de poblamiento.

TOTAL

90.974

100%

Fuente: Tomado de CAR (2006)

En síntesis, en los cerros orientales de la ciudad de Bogotá se encuentran ubicados sesenta y un desarrollos urbanos, que corresponden a las cinco localidades referenciadas anteriormente, representan aproximadamente 415.22 Hectáreas, en 16.847 lotes y asientan a una población de 90.974 habitantes aproximadamente.

▪ Localidad de Usaqué

La localidad de Usaqué posee un área de 6.531,32 Ha, de las cuales, corresponden a la superficie urbana 3.521,66 Ha, de éstas son áreas protegidas 276,99 Ha. El área rural tiene una extensión de 2.719,92 Hectáreas, que son en su totalidad áreas protegidas. Su área de expansión es de 289,74 Ha, de las cuales 36,51 Ha son áreas protegidas (Ver Tabla 13). Se estima, de acuerdo a la proyección realizada por el DANE - SDP (2005) los habitantes de la localidad para el año 2006 son 449.781, que representa el 6.6% de la población total de la ciudad y la ubica como la séptima localidad con mayor población del distrito para ese año. De la totalidad de la población de la localidad, 22.345 habitantes se encuentran ubicados en la zona urbana del área de Reserva Forestal, representando el 4.97% de su población total.

Tabla 13. Tipos de área en la localidad de Usaqué

	Área (Ha)	Área protegida (Ha)	Porcentaje protegido (%)
Área urbana	3.521,66	276,99	7,86%
Área rural	2.719,92	2.719,92	100%
Área de expansión	289,74	36,51	12,60%
ÁREA TOTAL	6.531,32	3.032,42	46,42%

Fuente: Elaboración propia basado en CAR (2006)

Dentro de las 3.032,4 Ha de la localidad que corresponden a áreas protegidas, se encuentran cuatro veredas de vocación netamente forestal; Torca, Tibabita, Barrancas Oriental y Páramo. Esta localidad es constituida por 112 barrios, de los cuales de acuerdo a la SDP (2011), 18 barrios se asientan en la zona de reserva.

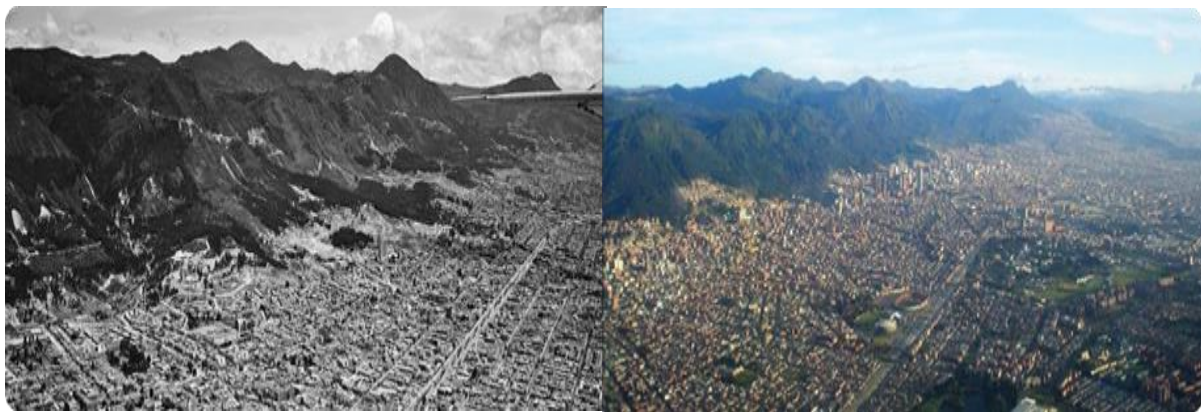
Las dos principales actividades económicas que se desarrollan en zona, son, el trabajo doméstico en el caso de las mujeres, la mayoría de las cuales se desplaza desde su

hábitat rural hasta la zona norte y centro de la ciudad, y la construcción en el caso de los hombres. Es frecuente encontrar personas dedicadas a actividades de producción agrícola para el auto sostenimiento, basadas en cultivos de papa, maíz y arveja (CAR, 2010).

3.2 Notas para la historia ambiental de los Cerros Orientales de Bogotá.

Los cerros orientales de Bogotá o Sierra de Bogotá, es un espacio que ha sido transformado por acción del hombre a lo largo de su interacción con los ecosistemas andinos. A manera de notas, se desarrolla a continuación el proceso histórico de co-evolución desde una perspectiva ambiental. Reconociendo las limitaciones presentes en las fuentes de información, ya que se encuentran dispersas, incompletas e incluso desaparecidas. Por lo tanto, en este texto se pretende reconstruir el camino de transición socio-metabólica de interdependencia entre la ciudad y los cerros. Asumiendo de la misma forma que, para la ciudad de Bogotá esta cadena montañosa es un “borde ecológico” para su expansión (Ver Ilustración 1 y Anexo G Desarrollo urbano zona oriental).

Ilustración 1. Fotografías aéreas ciudad de Bogotá 1950-2004 donde se aprecia los cerros como “borde ecológico”.



Fuente: Fundación cerros de Bogotá. www.cerrosdebogota.org

La sociedad que ha intervenido en y a los cerros orientales de Bogotá, lo ha hecho a través de tres visiones principales, que se encuentran ligadas en sí y confluyen para generar las transformaciones que se han desarrollado en este territorio. Estas tres visiones son: una visión cultural-simbólica, una visión de uso de recursos (energéticos,

materiales y agua) y por último una visión de asentamiento de vivienda, infraestructura e industrias en el espacio. Hay que adicionar que todas ellas están interrelacionadas a través de los conflictos socio-ambientales y las relaciones de poder a lo largo del tiempo.

A continuación se presentarán estas visiones, teniendo en cuenta las características particulares para el escenario de análisis, en este caso Usaquén.

3.2.1 Visión cultural-simbólica

La sierra de Bogotá, es decir tanto los diversos ecosistemas como el conjunto de montañas, son consideradas sagradas por los grupos indígenas que habitaron y continúan asentados en un reducido número en la sabana de Bogotá, ya que, la primera ocupación que se observa sobre el área, está compuesta por grupos sociales antecesores de los muisca, quienes se asentaron hace 15.000 años en los pies de los cerros y en las colinas de la sabana. Los cerros fueron considerados santuarios, espacios ceremoniales y sagrados para los muisca, en especial los bosques de Cedro y Nogales, así como las quebradas y lagunas. Es así como, históricamente la Sociedad Muisca es la que ha dado mayor valor al significado del paisaje y a la riqueza ambiental de los cerros y la sabana (Wiesner, 2004).

Esto cambia drásticamente cuando, en el año 1583 se funda por parte de Gonzalo Jiménez de Quesada y su capellán, Fray Luis de Zapata, la ciudad de Santa Fe de Bogotá. A partir de este hecho, se transforma la dinámica social y ecológica en la Sabana. Desde aquel momento los Cerros fueron observados, como un territorio con vista a la totalidad de la Sabana, desde donde Gonzalo Jiménez y Belalcázar planearon controlar los nuevos predios. En el cerro de Guadalupe se erigió una base militar y en sus laderas, en las estribaciones de los Cerros, Santa Fe de Bogotá (Chaparro, Mendoza, Pulido, & Carreño, 1997),

Siguiendo el camino de estos conquistadores, la iglesia, construye santuarios cristianos en las cimas de los cerros, por tanto los convierte en lugares de peregrinación y símbolos innegables del nuevo poder en aquel tiempo. En sus alturas se construyeron ermitas, la primera, la de Monserrate en 1620, establecida posteriormente en iglesia, y la segunda, el santuario de Guadalupe, construido en 1656 y destruida varias veces por terremotos. Este proceso se da a la par de la conversión de los grupos indígenas al Cristianismo, la

destrucción y saqueo de los santuarios indígenas existentes en los Cerros y la ocupación de diversos territorios en las montañas (Villegas editores, 2000).

No solo se construyó infraestructura en los cerros, de igual manera se inicia la fragmentación y alteración del conjunto de ecosistemas, que por orden de capellán Luis de Zapata, se tala la totalidad de nogales como proceso de la obra evangelizadora cristiana, que pretendía abdicar de esa forma las creencias paganas de los Muiscas, quienes adoraban tales especies (Molina, 1997), o por ser considerados lugares de pestilencia (Wiesner, 2004). Del mismo modo se manda a talar todos los cedros gigantes que había desde Santa Fe hasta Tunja, para producir muebles y enchapes de las iglesias de las ordenes franciscanas y agustinas (CAR, 2010), y con el paso del tiempo, se extiende a cualquier árbol grande que pueda confundirse con un cedro o nogal, entre ellos caen tíbares, chuacás, encenillo y hasta pinos romerones (Camargo, 2008).

Con respecto a los registros de diversos cronistas y pintores de la época, en el año de 1782 se da en el área la expedición botánica e inventario de especies, algo que para la importancia ecológica de la zona era apremiante y necesaria reconocer. Sin embargo, pocos años después Alexander Von Humboldt, recorre estos parajes y en 1801 manifiesta, *“La ciudad de Bogotá, circuida de bosques de alturas gigantescas está adosada a una muralla de rocas casi verticales”* (Alexander von Humboldt, 1801. Citado en Martínez, 1978, p. 36) haciendo visible la gran deforestación que para la fecha debió tener los cerros. Del mismo modo, Humboldt señala que, desde Santa Fe hasta el Boquerón de Choachí no hay un sólo árbol (Humbol (1801) citado en Villegas editores, 1994).

Por su parte Manuel Ancizar, comenta lo siguiente de acuerdo a su paso por inmediaciones de Usaquén: *“Por entonces costeábamos el repecho llamado Boquerón de Torca, y admirábamos la vigorosa vegetación de este lado de la cordillera, en contraste con la inmediata planicie de la “Venta del Contento”, árida y cubierta de frailejón cual si fuese un páramo, no obstante que la altura de aquel llano sobre el nivel del mar es solo de 2.660 metros y la región del frailejón comienza, según Caldas, a los 2.923 metros de altura”* (Ancizar, 1850, p. 2). Con lo cual, registra frailejones en la sabana a una altura menor de la esperada, infiriendo que este tipo de ecosistemas pudo haber estado presente, no solo en la ladera de los cerros, sino en la misma cadena montañosa antes de la deforestación y consecuente reforestación con especies exógenas.

Para este mismo periodo, hubo voces de alerta como la del cronista Cordovez de Moure, al describir la pobreza vegetal de los cerros, las montañas peladas y desnudas. Resultado que se atribuye a cuatro siglos de explotación sin una lógica planificada (Osorio, 2009). A este llamado se une el viajero Isaac Holton, quien en 1856, manifiesta que en Santa Fe y los alrededores, las cercas son construidas con materiales de piedra, ya que es imposible hacerlas con madera, pues ante la menor pieza de madera en estas construcciones, estas eran desarticuladas para leña (CAR, 2010).

La presión sobre los cerros debido a diversas actividades, se observan en pinturas y acuarelas, como la de Edward Mark (Ilustración 2), realizada a mediados del siglo XIX, donde evidencia el precario estado en que se encontraba los Cerros Orientales y que no cambio en mucho tiempo.

Ilustración 2. Acuarelas de Edward Mark. Colombia 1843 – 1856.



Fuente: Litografía Arco, Compilación (1995)

No fue hasta la primera mitad del siglo XX, cuando diversos imaginarios de naturaleza generaron presiones para transformar las políticas públicas y así cambiar la relación entre la sociedad, el paisaje, el abastecimiento de agua, los suelos y conduciendo a la reforestación de los cerros con especies foráneas (L. M. Jiménez, 2011). Jorge Bayona, secretario de la Sociedad de Mejoras y Ornato de Bogotá, sostiene en comunicación al Ministerio de Minas, *“Desde hace no poco tiempo viene esta corporación empeñada en que los cerros que guardan la ciudad por el oriente tengan un aspecto más natural, o, en otros términos, menos desapacible y antiestético, lo que podría conseguirse evitando la explotación de piedra y arena, lo mismo que las quemas. Esto en cuanto se refiere a la*

estética, asunto de no poca monta por tratarse de algo trascendental en las ciudades con mayor razón en la capital de la república" (Bayona, 1941, p. 2). Lo cual evidencia la emergencia de una nueva preocupación por el estado "estético" de los cerros y de evitar las actividades extractivas en la zona.

De igual manera, el reconocido periodista Caliban del diario El Tiempo, en la edición del 7 de noviembre de 1941, señala, *"Los CERROS que le guardan la espalda a la ciudad, eran también un bello manto de verdura. Los explotadores de arena los han llenado de lacras, y los han convertido en algo horrendo a la vista. ¿No sería posible que el gobierno, de acuerdo con la sociedad de embellecimiento, tomara alguna providencia para ponerle fin a esta obra de barbarie y esmaltar con chusque, matas de uva y de esmeralda, otra vez las faldas de Monserrate y Guadalupe? Así, Bogotá volvería a gozar de su verde cortina, que era una de sus mayores bellezas naturales"*. (Caliban, 1941, p. 3). En este mismo año se crea la Facultad de Ciencias Forestales en la Universidad Distrital por parte de una iniciativa alemana, dando comienzo al estudio científico de este campo de conocimiento en el centro del país (CAR, 2010).

La concepción acerca de este territorio ha tenido una serie de cambios para las personas que la habitan, por cuanto, los cerros, catalogados como extramuros de la ciudad, fueron el sitio ocupado y habitado por grupos sociales que se dedicaban a las actividades artesanales y manuales (concepción relacionada con plebeyos). Al contrario, la ganadería, que se practicaba en la Sabana (asociada a oficio de señores), era bien visto por las clases sociales altas (Villegas editores, 2000). Por lo cual, el habitante de los Cerros *"será el otro, el indígena y el mestizo artesano, quienes para elevar su condición dentro del régimen colonial debieron emigrar a la ciudad y ocupar el lugar que les permitieron: los Cerros, territorio de baja valoración para la clase dominante"* (Villegas editores, 2000, p. 67).

Esto se ha transformado con el tiempo y en los últimos años del siglo XX, la valoración del "paisaje" y de la "naturaleza" por grupos sociales con poder económico y político, ha llevado a la ocupación de espacios de las laderas de los Cerros para la construcción de viviendas de lujo (CAR, 2010), en ocasiones en contra de la declaración de la reserva protectora de bosque oriental de Bogotá que, como se ha mencionado anteriormente.

Para los habitantes de la ciudad, los visitantes de esta y sobre todo para las personas que poseen sus viviendas en los cerros, estos son parte inconfundible y sobresaliente del

paisaje urbano de Bogotá, y son parte esencial de su identidad. No obstante, como lo manifiesta Germán Camargo (2008, p. 13), *“uno de los sofismas que más ha perjudicado la conservación de los Cerros Orientales, ha sido el considerarlos “el telón de fondo de la ciudad”. Según esta apreciación superficial, el valor de los Cerros es el efecto escénico de los edificios recortándose contra el verde”*. Esta visión cultural ha hecho que tras cinco siglos de historia, la degradación ecosistémica y con ella, varios de los servicios ambientales de los cerros, se hayan visto reducidos para las personas que dependen de estos y para una ciudad en constante crecimiento.

Sin embargo, actualmente está emergiendo el imaginario que concibe a los cerros como parte fundamental del entretejido ecológico de la sabana de Bogotá, es decir, como integrante de la estructura ecológica principal de la región, en interdependencia con otros espacios naturales y la ciudad. Para lo cual, es fundamental el reconocimiento socio-ecológico, más allá de un telón de fondo, para ser considerado necesario y prioritario su función ambiental para el buen vivir de las poblaciones de las cuales depende.

3.2.2 Visión de proveedor de recursos materiales y energéticos

A nivel de los recursos, no solo materiales, como ya se ha aclarado, tanto energéticos como el abastecimiento de agua. Los cerros de Bogotá, poseen un papel preponderante en la continuidad de los servicios ambientales para los pobladores de la ciudad y de la región. En este sentido, se establecen estos tres elementos particulares para analizarlos después en conjunto.

▪ Recursos energéticos y alimenticios

Los grupos originarios Muisca modificaron y utilizaron este territorio para proveer alimentos y energía a una población calculada entre 500.000 y 2.000.000 de personas (CAR, 1986), en una organización sociocultural que de acuerdo a la CAR, prevenía la erosión, en un buen vivir, de manera armónica con el agua, las montañas, los bosques y aprovechaba la fauna sin destruirla. Cuando los conquistadores llegan a la sabana de Bogotá, se encuentran con un altiplano inundado, con un gran número de lagunas, juncas y bosques, principalmente de alisos. Es, en este territorio donde los indígenas se dedicaban a la caza de venados, aves migratorias y a la pesca; además de cultivar maíz

y papa en sistemas de canales y terraplenes en las orillas del río Bogotá y los humedales aledaños (Camargo, 2008; CAR, 2010; Chaparro et al., 1997).

Una de las razones de carácter ecológico para la consolidación de la capital del Nuevo Reino de Granada en la sabana de Bogotá, radicó en la adaptación del trigo en las tierras del altiplano central. De acuerdo con Camargo (2008), luego de varias décadas de hambre y sorpresa de los europeos en Cartagena y Santa Marta, porque esta semilla moría de manera abrumadora en los suelos de la costa caribe. A partir de la introducción del trigo, los cambios ecosistémicos se dan gracias al monocultivo, el ganado y el arcabuz, sistemas agrícolas e innovaciones tecnológicas que cambiarán la dinámica socio-ecológica definitivamente. Es la Conquista y posteriormente la Colonia que marcan para toda América el inicio de la explotación intensiva del hombre y de la Naturaleza, sin ánimo de sustentabilidad ni ecológica, ni social.

A nivel de energía calorífica, la tala de los bosques de los cerros fue una norma, desde la época de la Colonia, concretamente desde la primera mitad del siglo XVI, fue instituido el servicio obligatorio de cargue de leña a los indios, llamado “mita de leña”, luego de lo cual, colonos y mestizos fueron los principales responsables de la consecución de leña para la ciudad (Fundación Misión Colombia, 1989). Además de un uso doméstico, uno de los usos que más exigía cantidades cada vez mayores de leña, eran las iniciativas empresariales que nacían en aquel momento. Entre otros factores relacionados, la población indígena se redujo ostensiblemente, Humboldt señala, que los indígenas sobrevivientes eran obligados por disposición de las autoridades coloniales, a producir sal con técnicas anteriores que las precolombinas, *“por lo que se gastaba una cantidad enorme e innecesaria de leña”* (Alexander von Humboldt, 1801, citado en Camargo, 2008, p. 6). De acuerdo a Camargo, sólo en las salinas de Zipaquirá se consumieron bosques de una extensión aproximada a la de tres veces el casco urbano de la Santa Fe de la época.

La leña obtenida de los Cerros, además, tenía como destino algunas industrias adicionales a las salinas, se usaba para la producción de pólvora y la fundición de metales, en tiempos más modernos. No obstante, seguía el uso incontrolado para la obtención de energía calórica (Molina, 1997). A partir del siglo XX, emergieron los chircales y con estos, las alfarerías, las cuales contaban con ocho hornos en promedio, que eran alimentados con leña (Ilustración 3). Un documento fílmico de la época fue

creado por los realizadores audiovisuales Marta Rodríguez y Jorge Silva, entre los años 1966 y 1972 denominado “chircales” que registra a vida cotidiana de una familia en el barrio Tunjuelito en el Sur de Bogotá, además de los conflictos sociales y el uso de recursos por estas explotaciones informales.

Ilustración 3. Hornos de chircales ubicados en el Sur de Bogotá en 1985



Fuente: Tomado de Salazar (1985)

La predilección de la leña sobre el carbón, radicaba en su rendimiento energético. De acuerdo con Triana (1914, p. 22), “una carga de leña rendía dieciocho operaciones de horneo, contra siete que producía el carbón”, por esta razón, la presión sobre estos materiales, de por sí, sobreexplotados históricamente. En la Tabla 14 se observa el número de Alfarerías asentadas en los cerros orientales, y el número de hornos, se podría calcular el uso de leña y el consumo energético de estas actividades, que en total suman 85, con alrededor de 195 hornos.

Tabla 14. Localización de las alfarerías hasta 1914.

Ubicación	Número	Hornos en factorías	Piezas producidas en 1914
CHAPINERO	13	32	442.500
SUCRE	8	21	482.006
SANTA BARBARA	45	10	103.000
LAS CRUCES Y SAN	59	132	1.941.000

CRISTOBAL

TOTALES	85	195	2.968.506
---------	----	-----	-----------

Fuente: Tomado de Triana (1914)

Hasta el principio de siglo XX, la opción energética de los habitantes de la ciudad, en particular para las labores domésticas, que se limitaba a la cocina, era fundamentalmente la leña, tanto bruta como en carbón vegetal, hasta extinguir los bosques nativos a mediados del siglo XIX. Generando conflictos y cambios en los hábitos de algunos habitantes por el abasto de leña, que no tenían poder adquisitivo para comprar sustitutos energéticos (Cote, 1883).

Es así como el médico Manuel Cote, en el primer Congreso Nacional de Medicina de Colombia realizado en 1884 describe tal situación de desabastecimiento de fuentes energéticas. Señala Cote, que el abasto de leña para los sectores pobres de la sociedad santafereña era una ilusión, pues en primer lugar se encuentran, altos los costos fruto de la insuficiencia y el acaparamiento de la leña y, además de la escasa oferta de este recurso, producto de la deforestación. El contexto era tan difícil que *“jornaleros y campesinos de fin de siglo se vieron obligados a cocinar sus alimentos con estiércol de ganado”* (Cote, 1883, p. 32).

Con el aumento de la población de la ciudad de Bogotá (por razones políticas, ecológicas, sociales y económicas; así como por el crecimiento natural del población) ocurrida entre las décadas del treinta y la del ochenta del siglo XIX, la demanda de recursos energéticos creció alrededor de cuatro veces respecto a los tres siglos anteriores. Entre los años de 1832 y 1884, de acuerdo a Mejía (2000), Bogotá paso de tener 28.341 habitantes a 95.813, es decir algo más de tres veces, con lo cual, la demanda de leña para labores domésticas se triplico, teniendo en cuenta que no existía otra alternativa energética fuera de la leña (Mejía, 2000; Osorio, 2009). Esta presión generó lo que se conocía como el Tren de La Calera, *“una interminable recua de miles de yuntas de bueyes y tiros de mulas que de día y de noche, durante décadas, hacían el camino desde los encanillares del Teusacá, cargados de carbón, leña, cáscara de encenillo (para las curtiembres), chusque (para construcción) y vigas, surcando las cimas de los Cerros Orientales”* (CAR, 2010, p. 23).

Un cambio profundo se genera en el inicio de siglo XX, donde se gesta la transición energética que experimenta la ciudad como un espacio híbrido, es gracias a

electrificación de la ciudad, el uso del gas y el cocinol, que disminuye el uso y gasto del carbón vegetal, como única fuente calorífica para usos domésticos e industriales (Díaz, 2011, p. 60). Con esto, la deforestación se reduce y comienza una etapa de regeneración de bosques nativos en algunas zonas de los cerros, que se encuentra en riesgo con el ciclo papa-pastoreo desde los años 30 y con la expansión urbana, especialmente de desarrollos progresivos que se inician a partir de los años 60 en los cerros orientales (Camargo, 2008; CAR, 2010).

▪ **Materiales para construcción**

Los cerros, desde los inicios de los asentamientos en sus faldas, ha sido proveedor de materiales fundamentales para la construcción de infraestructura, casas y caminos. La Real Audiencia en 1586, obligaba para la edificación el uso de “piedra, tapia y teja”, para que no fueran construcciones de paja o efímeros. A partir de entonces, por norma, estas montañas se convirtieron en despensa oficial de arcillas, greda, madera, piedra caliza, arena y piedra, con el objetivo de sostener muros de bahareque, muros de calicanto y construcciones oficiales (AGN, 1948). En referencia a lo anterior, Alexander von Humboldt, hablando sobre Monserrate, manifiesta el uso de estos recursos en el siglo XIX: “...Los indios buscan allí el chusque (...) cuyas varas son acanaladas como lo que se vende como bambú en París. Este chusque se usa mucho en la construcción de casas, en los techos, para entrelazar...” (Humbolt, von Alexander, 1801, citado en CAR, 2010, p. 22)

A finales del Siglo XIX, el poder político encabezado por Manuel Murillo Toro, encabeza la importación de eucalipto para la reforestación y la construcción del tren y el telégrafo. No obstante, el costo ambiental para estos ecosistemas es enorme, la demanda de materiales vuelve a incrementarse, ya que, los rieles para el tren se fabrican a partir del roble, los postes para el telégrafo del encenillo; en el rastrojo restante, se plantan eucaliptos. (CAR, 2010)

Las principales problemáticas en la sierra de Bogotá, se dieron por cuenta de extracción de piedra caliza, arena y arcillas, demandadas en gran cantidad por la creciente urbe. Desde finales del siglo XIX y durante la primera mitad del siglo XX, Usaquén se convirtió en el principal proveedor de piedra y arena para la ciudad (Ver Ilustración 4) y con ellas se construyeron edificios emblemáticos como el antiguo palacio de justicia y el edificio del

congreso de la república de Colombia. Con el tiempo se iniciaron nuevas explotaciones, tal como las comprendidas entre los barrios Santa Ana y Santa Bárbara en 1950 (Wiesner, 2004)

Ilustración 4. Impacto ecológico de canteras de piedra en Usaquén 1982.



Fuente: Tomado de Delgado (1982)

El impacto de las canteras y chircales sobre el entorno, radica en que su explotación, exige la remoción de la cobertura vegetal de la zona utilizada, es decir, los bosques o rastrojos aún en pie y la capa orgánica, provocando procesos erosivos y de afectación del paisaje, como consecuencia este proceso ha intervenido el paisaje, la oferta y calidad hídrica y la calidad del aire (Osorio, 2009).

▪ Agua²⁴

La relación intrínseca entre el agua y estos los ecosistemas presentes en el área de la reserva, es interdependiente y no puede dissociarse. La RFPBOB forma parte de la estructura ecológica principal de la región de la sabana de Bogotá, conectándose con humedales, corredores ambientales y paramos. Los cerros orientales son el lugar de nacimiento de quebradas y causes, los cuales hacen parte de la cuenca media del río

²⁴ Para estudiar de forma más extensa el tema hídrico en la historia ambiental urbana de Bogotá, ver Felacio (2009) y Torres (2009).

Bogotá, la relación entre el bienestar de los habitantes de la urbe y el estado de los cerros y sus ecosistemas es incuestionable.

Como se ha mencionado anteriormente, el impacto de diversas actividades antrópicas transformo su dinámica ecológica, cuatro siglos de presencia humana afectaron los cerros, alterando de forma sensible el equilibrio natural de este socio-ecosistema. De acuerdo a Osorio (2009), la remoción de la cobertura vegetal en las hoyas de nacimiento de ríos, como el San Francisco, San Agustín y San Cristóbal, afectó alrededor del 90% del abastecimiento del agua de consumo para los habitantes de la Bogotá de finales del siglo XIX (Ver Ilustración 5).

No obstante, no son los únicos conflictos ambientales que se generaron por la insustentabilidad de las prácticas desarrolladas allí. La deforestación intensa desde la colonia, derivó que a comienzos del siglo XIX en una alarmante falta de cobertura boscosa, lo cual afectó de manera considerable el abastecimiento de agua para Bogotá, y fue necesaria la arborización de parte de Guadalupe y Monserrate, al igual que las orillas de ríos como el Arzobispo y San Agustín (CAR, 2010). Otras problemáticas son registradas por José Peña (1896), Administrador del Ramo de Aguas a finales del siglo XIX, quien elaboró un informe para el Concejo Municipal de Bogotá, en el cual señala, que desde el año de 1853 en adelante, los chircales ubicados en el recorrido del acueducto de Aguanueva, cuya fuente era el río San Cristóbal, generaron 33 deslizamientos sobre la infraestructura en el sector conocido como los Laureles, sistema que transportaba el agua del río hasta la ciudad de Bogotá, con sus consiguientes cortes de agua para los bogotanos.

Por su parte, Miguel Triana, ante las problemáticas que durante el siglo XIX afectaron el abastecimiento hídrico, propone la compra de parte de los cerros y de los páramos circunvecinos, donde se hallan los nacimientos de los ríos y las cuencas de captación, como medida estratégica de protección para la ciudad (Triana, 1914).

Ilustración 5. Piletas de uso público para el abastecimiento de agua. 1940



Fuente: Colección Museo de Bogotá, fondo Daniel Rodríguez Reg. MdB II-112a

Entre algunas obras de infraestructura que se desarrollaron en los cerros se encuentran la construcción de tanques de almacenamiento de agua en laderas de los cerros. En 1890 y en el año de 1924, finalizaron las obras del acueducto de Vitelma, con aguas del río San Cristóbal (CAR, 2010; Wiesner, 2004).

3.2.3 Visión de asentamiento de vivienda, infraestructura e industrias

La ocupación del territorio para habitarlo y construir diversos tipos de estructuras, entre las cuales se encuentran: Religiosas (Ermitas de Monserrate y Guadalupe en el siglo XVII), Domesticas (Urbanizaciones de desarrollos progresivos y construcciones tipo chalets), Infraestructura (Caminos reales, vías de acceso a barrios, acueductos, redes de transmisión eléctrica y cable aéreo de la empresa Cementos Samper), y explotaciones (Caracterizadas primordialmente por chircales y canteras de arena), son constantes en la evolución de los cerros en los últimos cuatrocientos años. Sin embargo, la presión e impacto de estas estructuras sobre la dinámica ambiental y específicamente los servicios ecosistémicos, solo se ha estudiado para algunos casos²⁵. A continuación se presentará

²⁵ Los temas de Agua y Deforestación son los impactos ecológicos que más se han estudiado, ver Osorio (2009).

el proceso de urbanización, desarrollos progresivos y de asentamientos de explotaciones en la Sierra de Bogotá.

▪ Urbanización

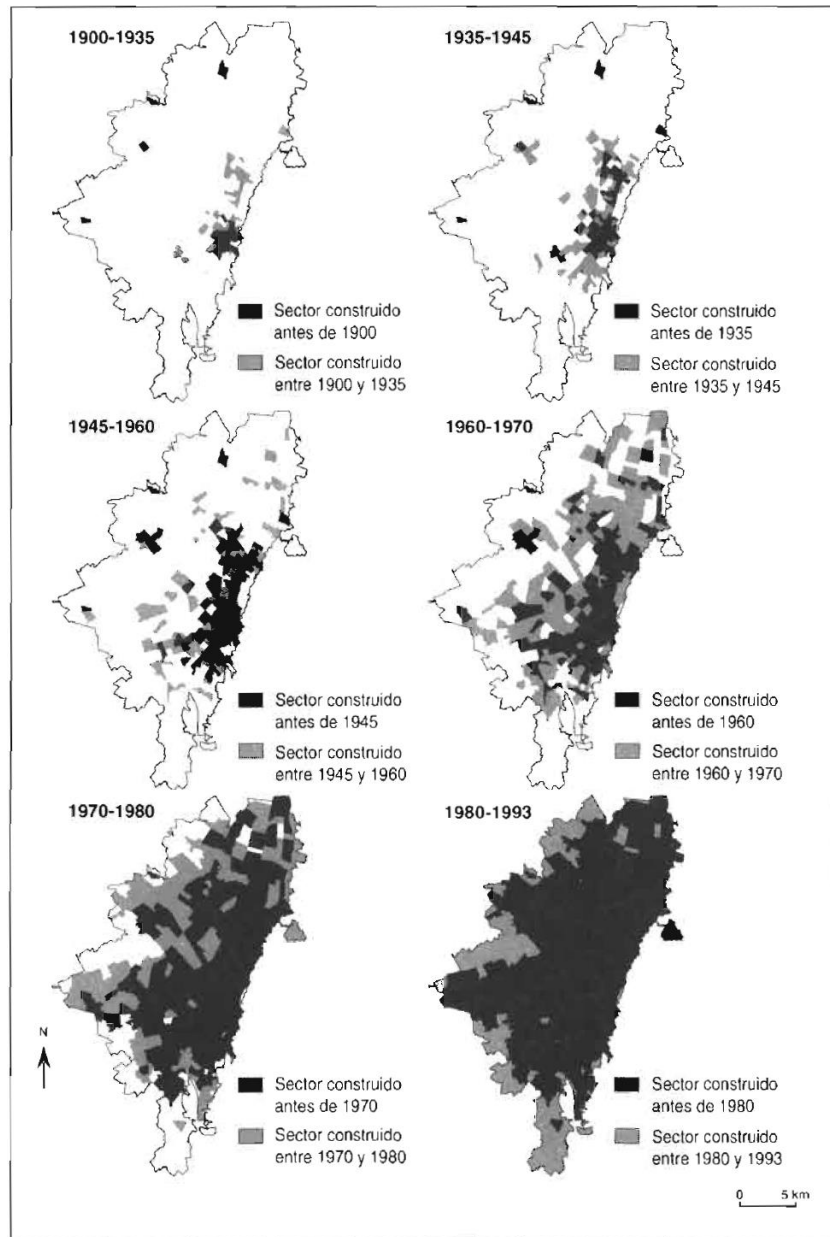
Desde la fundación de Santa Fe de Bogotá, la ciudad se ha expandido a un ritmo progresivo, hasta llevar sus urbanizaciones hasta las montañas que la rodean. Las primeras construcciones sobre los cerros en el siglo XVI, son los Santuarios religiosos que se construyen en la cima de los lugares de culto de la población indígena asentada. A partir de allí, se desarrollan actividades diversificadas en ellos, en tanto las laderas eran ocupadas por indígenas y mestizos, desplazados de sus tierras antes habitadas. La Santa Fe de Bogotá de la época, se expande sobre la sabana, convirtiendo a los cerros en un borde ambiental (Ver Figura 9), es decir la propagación de la ciudad hacia el Oriente ha estado “represada” por la barrera orográfica (conjunto de cerros) por alrededor de tres siglos (Camargo, 2008).

Mientras, desde el siglo XVIII, poblados como Chapinero y Usaquén se extienden sobre las faldas de los cerros, gracias a la parcelización que, sobre las haciendas se empieza a realizar. La expansión urbana Bogotana, se orientaba y tenía como frontera en un principio el eje de la carrera 7ª, en la falda de los cerros, que, con el paso de los años continua con la “carretera central del Norte”, antigua salida a Tunja. Por otro lado, los predios que la iglesia posee en la sierra, desde el siglo XIX comienzan un proceso de desamortización, es decir, la venta de bienes eclesiásticos a particulares. Con lo cual se inician actividades económicas tal como cultivos de papa y maíz y unas nacientes canteras de arena y chircales de greda, arcilla (Wiesner, 2004).

Los espacios generados por las recientes iniciativas extractivas (en su mayoría, de acuerdo a la legislación de la época explotaciones, ilegales), se convirtieron pronto en áreas para desarrollos urbanos progresivos, por parte de los trabajadores de las mismas. Tal como lo evidencia el Profesor Juan Carlos Jiménez (2005), en la cuenca del río San Cristóbal entre 1938 y 1946 se construyeron dos asentamientos creados por el Gobierno. Mientras, entre 1946 y 1960, se urbaniza la cuenca del río San Cristóbal, se da la misma tendencia hacia el norte desde San Agustín hasta Usaquén, donde se crean barrios como San Cristóbal Norte, San Gabriel, Santa Cecilia, y continuando por el norte, la

urbanización llega hasta la Calle 200, con la parcelación de la hacienda Tibabita, barrios ligados al trabajo de las areneras y ladrilleras.

Figura 9. Expansión urbana de Bogotá 1900-1993

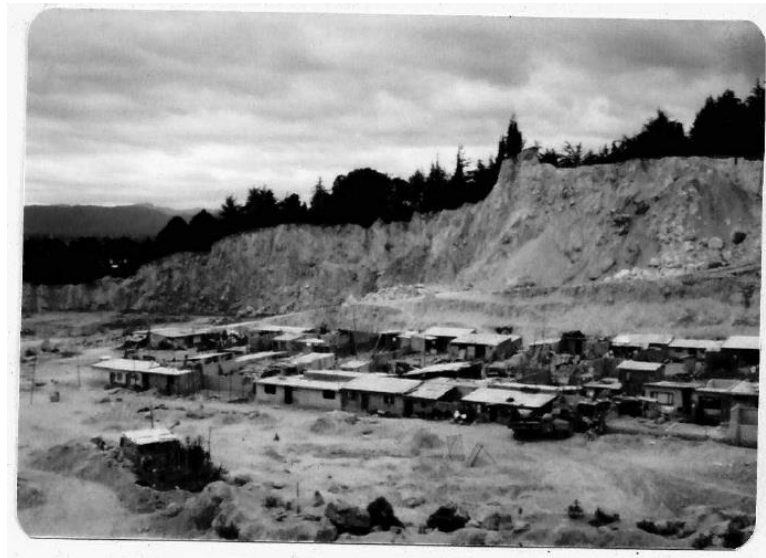


Fuente: Tomado de Jiménez (2005) con base en fotografías aéreas.

Con el paso del tiempo se consolida la construcción de viviendas en canteras abandonadas. Generando desarrollos progresivos de vivienda en los cerros del Centro, Norte y Sur de la ciudad de Bogotá hasta el día de hoy. Más tarde, en los ochentas y comienzos de los noventas aparecen en el sur, barrios como Juan XXIII y las Acacias,

mientras sobre la vía a la Calera surgen San Isidro, San Luis y La Esperanza, en zonas de reserva forestal. Hoy, aún existen procesos de expansión urbana progresiva en estas zonas, en el escenario de análisis los cerros de Usaqué, sobre la carretera La Cita - La Aurora, el complejo de El Codito y Serrezuela se encuentra muy cerca de las paredes de una vieja explotación arenera (CAR, 2010). En la ilustración 6, se puede observar el inicio de los desarrollos progresivos en los antiguos predios de una cantera.

Ilustración 6. Desarrollos urbanos progresivos en canteras en Usaqué en 1982



Fuente: Tomado de Delgado (1982)

Sin embargo, no solo se dan desarrollos progresivos, se encuentran distintas tendencias. Hacia el norte, en sectores específicos hay una oferta inmobiliaria de gran variedad, desarrollos planificados, entre estratos seis al dos, gracias a la existencia de lotes en desarrollo, antiguas canteras, como también con la presencia de equipamientos educativos y comerciales. Siguiendo a Wiesner (2004), las tendencias de expansión urbanas observadas y que afectan la “calidad visual del paisaje”, son en mayor grado, los desarrollos urbanos de alta densidad y alto impacto, muchos de ellos se han dado sobre áreas de canteras o zonas altamente modificadas y de alta fragilidad visual.

De acuerdo a la normatividad de la época, no es posible desarrollar construcciones en el área de la reserva. No obstante, esta normativa no reconoce la compleja realidad que por siglos se ha desarrollado allí, la desconoce, en particular, lo referente a los usos de los suelos y las coberturas. Convirtiéndose así, en generador de nuevos conflictos en la zona (Camargo, 2008). Es, importante este aspecto para determinar la transición rural-urbana

que se dan en desde los años 1950, con el abandono de algunas canteras, el desplazamiento de miles de personas a Bogotá, y la demanda de materiales de construcción que se incrementa con el paso de los años, en una ciudad, que crece a ritmo acelerado.

▪ **Industria e infraestructura**

En cuanto a infraestructura e industria, los cerros orientales no han escapado a la construcción de caminos reales durante la colonia, que dieron paso a vías para el acceso a los pueblos ubicados al oriente de la capital. Las primeras trasformaciones se dan al cabo de la entrada del siglo XX, se crean medios de transporte para llegar a los santuarios religiosos, en 1929 se construye el funicular en Monserrate y entre 1953 y 1957 se edifica el teleférico de Monserrate. Por otra parte, equipamientos culturales como la Medio Torta se concluyen en 1938 y espacios de transición entre la zona urbana y los cerros, se crean con la inauguración del Parque Nacional en el año de 1933 (Wiesner, 2004).

La CAR (2010) señala, que desde épocas tempranas se establecieron en los cerros, tejares y chircales, además de crearse nuevas fábricas de ladrillos por habitantes nacionales y extranjeros (Moore, Gouding, etc.), debido a la gran demanda de materiales de construcción. Además de chircales, se establecieron en el territorio numerosas canteras de arena, piedra y caliza. Las cuales generaban grandes efectos socio-ambientales (En el siguiente capítulo se ahondará en el desarrollo histórico de las canteras de la capital del país durante el siglo XX). Desarrollando sus actividades por 80 años, especialmente en localidades como Usaquén, San Cristóbal y Usme.

Las canteras, chircales y ladrilleras, no son las únicas que transforman los cerros, la compañía de Cementos Samper, lo utilizo como corredor de material terminado desde su planta de producción en La Calera, hasta las Bodegas en la antigua hacienda Contador en la localidad de Usaquén. En la ilustración 7, se observa la construcción del cable aéreo de la empresa Cementos Samper en 1954. Que hasta su liquidación en la década de 1990, transporto cientos de toneladas de caliza extraída del Páramo de Chingaza (Proveedor fundamental de Agua para la ciudad de Bogotá) y cemento para sostener la expansión de la ciudad.

Ilustración 7. Construcción del cable aéreo de la empresa Cementos Samper 1954.



Fuente: Tomado de Sanz de Santamaria (1982)

Estas visiones se han transformado unas a otras, e inclusive los actores que gracias a estas construyeron, extrajeron y habitaron este territorio, se han envuelto en conflictos por el uso de recursos, así como por las consecuencias de las acciones en el pasado. Es el caso de deslizamientos de tierra, generados por las canteras de arena explotadas de una manera anti técnica o de habitantes que deben salir del territorio por la puesta en marcha de una norma que no reconoce la compleja realidad de los cerros orientales.

4. Metabolismo Socio Ecológico Urbano de los cerros nororientales de Bogotá - Usaquén.

En este capítulo se realiza el análisis del Metabolismo Socio Ecológico Urbano (MSEU) de los cerros nororientales de la ciudad de Bogotá, es decir, del área de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá ubicada en la localidad de Usaquén. Este estudio se concentra en las canteras o explotaciones de derivados pétreos. Para esto, fue necesario el análisis histórico de la explotación de los cerros, como stock de materiales de construcción, la descripción de la geología del área, así como las características de las explotaciones, para, finalmente realizar el análisis del flujo de materiales y energía de las actividades extractivas en el año de 1976 y sus efectos.

4.1 Desarrollo histórico de las explotaciones extractivas en Bogotá

Como se analizó anteriormente, se evidencia que los cerros orientales de la ciudad de Bogotá, han evolucionado en interdependencia con la ciudad. De esta forma, los materiales de los cuales es proveedora, en especial los materiales pétreos, son fundamentales para la construcción de la ciudad, para edificación de viviendas, vías, infraestructura pública, edificios privados, etc. Por lo tanto, las explotaciones se inician desde el siglo XVI, a menor escala y con sistemas de producción manual.

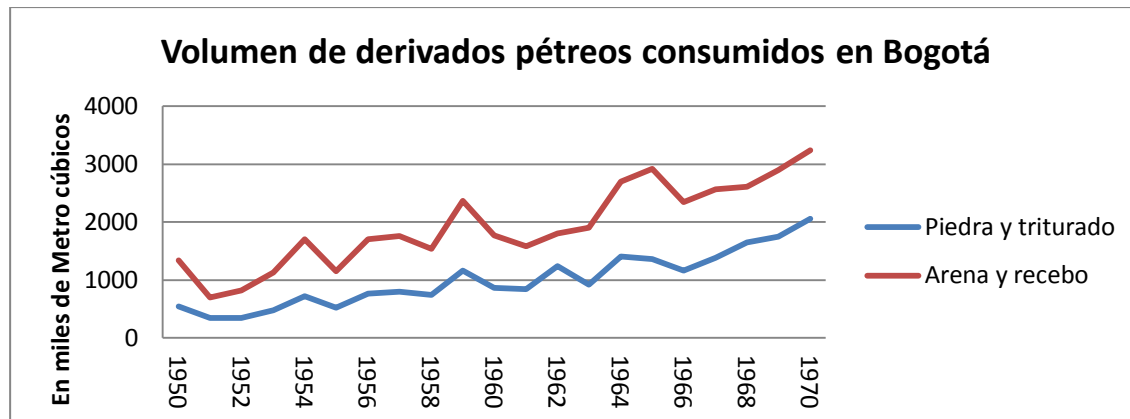
Las primeras explotaciones registradas y documentadas son chircales en las laderas de los cerros de Guadalupe y Monserrate, que, debido a conflictos hídricos y deslizamientos de materiales, tuvieron que trasladarse al norte de la sabana de Bogotá. Esto se dio debido al Acuerdo 29 de 1894 del concejo de la ciudad, el cual reglamentó la explotación de canteras y otras minas en Bogotá. Pues, se consideró a la minería en la zona hidrográfica y orográfica comprendida entre los puntos conocidos con los nombres de

"Arroyo de la vieja," en Chapinero, y el "Alto de Bitelma" en San Cristóbal, es "*Perjudicial y peligrosa*" y por tal motivo fueron prohibidas (Concejo Municipal de Bogotá, 1894, p. 1).

A partir de 1894, estas nacientes explotaciones se asientan en el borde norte de los cerros orientales de la ciudad, con procesos productivos manuales o semimecanizados. En el área alrededor del pueblo de Usaquén, de acuerdo con el mapa del Estado Mayor General (1930) –Anexo H–, se establecen para el año de 1930, tres canteras, dos ubicadas en inmediaciones del pueblo y la siguiente en inmediaciones del sector denominado Barrancas. Por su parte, para el año 1940 su número había aumentado a catorce (siete canteras y siete cascajeras), ubicadas ya en toda la franja occidental de la sierra, hasta el espacio conocido como la cita (Ver Anexo A).

El estudio del Centro de Estudios de la Construcción y el desarrollo urbano regional - CENAC (1977) señala, que las primeras explotaciones altamente mecanizadas datan del año de 1950, este tipo de explotación así como las mecanizadas se generalizaron en la década del sesenta en el área, con serias implicaciones en el consumo energético y el aumento en la extracción de material. La fecha de inicio de las actividades corresponde a explotaciones de propiedad de la empresa. Ya que, muchas empresas no explotan el mismo terreno desde su inicio, sino que, por razones de agotamiento de material u otras causas, han pasado de un terreno a otro, dando origen a muchos frentes (CENAC, 1977).

Gran parte de las explotaciones aparecieron en la década de 1960, con el objetivo de suplir las demandas del sector de la construcción en la ciudad de Bogotá, así como a nivel regional. Estas surgieron en la cuenca del río Bogotá y en los cerros orientales de la sabana. Localizadas en estas áreas, debido a los yacimientos explotables de derivados pétreos, y la cercanía con los centros de consumo. En la Figura 10 se señala la evolución del consumo de derivados pétreos en construcción privada para la ciudad de Bogotá entre 1950 a 1970, se evidencia un crecimiento constante en el consumo de materiales pétreos por parte de los constructores. Para la arena y recebo, crece alrededor del 150%, mientras para la piedra y el triturado, un 350%.

Figura 10. Evolución del consumo de derivados pétreos para vivienda privada 1950 -1970.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Gonzales (1971)

Esto se debe, principalmente al crecimiento de la demanda por materiales de construcción en una ciudad como Bogotá, que crece de manera descomedida²⁶, (). Impulsado por la anexión de varios municipios a Bogotá en el año de 1954, por medio del *Decreto 3463 de 1954*, el cual organizó el Distrito Especial de Bogotá y la *Ordenanza 7 de 1954*, por la cual se incorporan Fontibón, Bosa, Usme, Suba, Usaquén y Engativá al Distrito Especial de Bogotá. Generando condiciones para la urbanización de los terrenos entre estos municipios, que condujo a incentivar la constitución de nuevas explotaciones en los cerros orientales.

En el año de 1967, de acuerdo al decreto 071 se reglamentaron las explotaciones de materiales de construcción, en la capital. Exigiéndoles a partir de ese momento una licencia de funcionamiento, que muy pocas solicitaron. Con el decreto 743 de 1976, se establece la segmentación de las zonas de extracción, la primera, el Distrito Especial de Bogotá y la segunda, los Cerros Orientales. En la segunda área, se permitió la recuperación de las canteras y se prohibió la apertura de nuevas, para convertir los terrenos en zona de reserva. Sin embargo, las reservas de materiales que los cerros poseían (Ver Tabla 15), continúan en explotación, pese a contrariar la norma y generar efectos sociales y ambientales.

²⁶ Ver G. I. Ardila y Acevedo (2003); Palacio y Ruiz (2008); Pérez (2003); J. L. Preciado, Robert y Almanza (2005)

Tabla 15. Volumen de reservas de derivados pétreos para Bogotá en los años 1971 y 1985

Región	Volumen potencial en Millones de M3
La cita*	150
Usaquén*	32
Santana*	4
La Calera*	38
El codito**	2.3

*Año 1971 y ** Año 1985

Fuente: Elaboración propia basado en
Correa (2000) y Gonzales (1971)

En el año de 1980 por medio del acuerdo 13 expedido por la CAR, se dictaron disposiciones referentes a la regulación y control de las actividades extractivas, la exploración y procesamiento de canteras, gravilleras y, en general lo relacionado con minerales metálicos y no metálicos. A partir de ese momento la CAR empezó a desarrollar las funciones de administrar, conservar y manejar la zona de reserva y sus recursos naturales.

Para tal efecto, en 1988 mediante el decreto 0105 se hace necesario una planificación, organización y reglamentación del traslado de los puntos de explotación a otros sectores fuera del área urbana, previa recuperación de las actuales zonas de explotación. Sin embargo, como se verá más adelante estas disposiciones no se cumplieron, se siguieron con algunos frentes y sin la obligatoria recuperación geomorfológica y ecológica de los terrenos utilizados. A partir de ese momento, la Secretaria de Obras públicas del Distrito, entidad responsable de las canteras en la capital del país, no concede más licencias de explotación, solamente podría otorgar la licencia de recuperación de Canteras en los cerros que circundan al área urbana de Bogotá, sin embargo, la explotación continuó de manera indebida (Pelaez, 1991).

Los registros mineros de canteras corresponden a inscripciones de propiedad de canteras activas en el Registro Minero Nacional con anterioridad a la vigencia del Decreto 2655 de 1988 (primer código de Minas) el cual dispuso que se conservarían los derechos en las condiciones y términos señalados por el mismo Código. El Código de Minas actual (Ley 685 de 2001) explícitamente *“excluye para la minería las áreas de reserva forestal”*. Así mismo, en la ley 99 del 93 se ha previsto que las autoridades

ambientales regionales tienen competencia para solicitar al Ministerio de Minas la declaración de caducidad de los títulos inapropiados.

Al cabo de este desarrollo normativo, el número de canteras y explotaciones²⁷ en la ciudad de Bogotá aumentó, sin contar en la mayoría de los casos con asesoría técnica, seguridad laboral para los trabajadores, cumplimiento de leyes (como la del trabajo infantil) y sin considerar los efectos en los servicios ecosistémicos en el territorio donde desarrollaban sus acciones. A continuación, en la Tabla 16 se presenta el número de frentes, durante la segunda mitad del siglo XX en la ciudad de Bogotá.

Tabla 16. Frentes de derivados pétreos en la ciudad de Bogotá

Año	Número de explotaciones
1971	140
1976	325
1985	435
1991*	1304
2000	Mayor a 1000

*Corresponde a Bogotá y municipios aledaños.

Fuente: Elaboración propia con base en

Gonzales (1971), CENAC (1977), Pelaez (1991), Correa (2000) y Salazar (1985)

Se observa un incremento de al menos el 400% en el número de explotaciones entre 1976 y 1991; mientras en los siguientes años se reduce a alrededor de 1000. Debido al efecto de la prohibición y el agotamiento de material en muchas canteras, las actividades extractivas en la zona, comienzan una etapa decreciente. En la siguiente ilustración se observa una cantera con varios frentes abiertos.

²⁷ Se considera que una cantera posee varios frentes o explotaciones, así por ejemplo de acuerdo al tamaño de la cantera podrá tener 5 explotaciones.

Ilustración 8. Cantera de Soratama (Usaquén) con varios frentes abiertos en el año de 1985



Fuente: Tomado de Salazar (1985)

4.2 Síntesis Geológica de Usaquén y características de las explotaciones

La región de la sabana de Bogotá y sus formaciones orográficas, de acuerdo con Royo y Gómez (1941), poseen alturas entre 2600 msnm y 3200 msnm y, poseen pendientes fuertes con cañones en “V” en la parte superior de la zona. El relieve es escarpado y se suaviza por sectores debido a la presencia de rellenos aluviales²⁸ y fluvio-glaciales²⁹. A su vez, se encuentra dividida en dos áreas geomorfológicas principales, a saber:

- Sabana de Bogotá: Caracterizada por sus bajas pendientes menores a 1 grado.
- Cerros nororientales: Posee pendientes de moderadas a altas, generalmente mayores de 20 grados.

Los cerros nororientales están constituidos principalmente, por la formación Guadalupe Superior, la cual se generó en el periodo Cretácico. Está compuesto de abajo hacia arriba por el nivel de plaenens (arenisca dura). Siguiendo hacia la parte superior se encuentra la arenisca de labor y a continuación la arenisca tierna (Pelaez, 1991) .

Después se encuentra la formación Guaduas, que pertenece al periodo entre el Cretáceo y el Terciario, compuesta por arcillas con lechos carbonosos intercalados de 50 a 1m de espesor, en la parte superior se encuentran arenas compactas de grano fino a grueso.

²⁸ Depósitos de arenisca y grava debidos al agua efluente.

²⁹ Sedimentos depositados por el agua de deshielo glaciario.

Siguiendo el camino hacia arriba, se halla la formación Bogotá, generada en el Terciario, está compuesta por arenisca de Cacho, en seguida, arenisca de la Regadera (Pelaez, 1991). Finalmente, se encuentran en algunas áreas depósitos de material inconsolidado, compuesto por aluviones formados por elementos de roca de diversos tamaños en mayoría arcilla gris, amarilla y parda rojiza, algunos depósitos fluvio-glaciales (Qfg) (Delgado, 1982).

4.2.1 Geología de la zona de Usaquén

El área de Usaquén está compuesta por el anticlinal de Bogotá-Usaquén, formación orientada Norte-Sur y de longitud considerable. Esta formación está formada por el Guadalupe Superior (Ksgs), predominando formaciones de Arenisca de Labor (Ksgl) y la Arenisca Tierna (Kgt), la cual se explota como areneras. La Arenisca Dura constituye los relieves, que se observan en el borde de la sabana con los cerros, sin embargo no son explotables debido a que la ciudad se encuentra muy cerca de ellas (Ver Anexo E Geología). Sin embargo, en sectores de la localidad, se ha explotado hacia el interior de la montaña (Lopez, Camacho, & Garcia, 1975).

Otra formación importante es la formación Planeners, la cual se presenta a todo lo largo del anticlinal³⁰, aunque en el norte de la zona pierde el espesor. En contraste, las Areniscas de Labor (de grano medio a fino), imperan en los sectores desde Cedritos hasta la Cita. Por encima de esta formación, y más al norte, la Arenisca Tierna predomina, intermitente y sin capas silíceas intercaladas (Lopez et al., 1975).

En la zona coexisten materiales duros (areniscas), encontradas en las laderas altas, hacia la cumbre de las montañas y elementos blandos (arcillas), que se encuentran con facilidad en las partes bajas, en las laderas de los cerros. Tal como afirma Royo y Gómez (1941), la posición en que se encuentran los diferentes estratos geológicos en relación con los cerros orientales de la capital, favorecen la estabilidad del suelo. *“La fuerte inclinación y buzamiento de las capas hacia el interior de los cerros en la mayor parte de la vertiente occidental es una patente de seguridad siempre que no le suprimamos los estratos inferiores en que aquellas se apoyan”* (Royo y Gómez, 1941, p. 10). Se

³⁰ Se denomina Anticlinal a un pliegue de la corteza terrestre en forma de curva cuyos costados se inclinan en sentidos opuestos.

evidencia así, la preocupación por la actividad de las recientes actividades mineras que empezarán a transformar los cerros.

Otra preocupación de Royo y Gómez, son las arcillas y gredas, ya que, cuando entran en contacto con el agua de lluvia, superficial o subterránea se vuelven plásticas, y por acción de la gravedad inician un proceso de deslizamiento hacia zonas bajas, en busca del equilibrio. Esta es una de las principales causas para deslizamientos, hundimientos y agrietamientos de edificaciones asentadas en los cerros orientales

4.2.2 Características de las explotaciones

En el presente estudio, las canteras son las unidades características del metabolismo, como principal aparato de transformación del sistema socio-ecológico, en el cuadro 6 se dan las definiciones de las actividades extractivas que se encuentran en la literatura.

Cuadro 6. Tipos de actividades extractivas

Las siguientes definiciones de actividades extractivas, se generan con base a Pelaez (1991, p. 19)

- **Chircales**

Son un tipo de explotación manual y/o semimecanizadas, caracterizadas por la utilización de instrumentos de trabajo rudimentarios accionados por la fuerza del hombre y/o animal. Su principal producto son arcillas, para la industria ladrillera.

- **Areneras**

Son actividades extractivas dedicadas a la explotación de arenas de peña de los estratos rocosos de areniscas. Dependiendo de su calidad litológica³¹, estas se pueden utilizar para usos industriales o para la construcción. El grado de dureza del material condiciona el sistema de extracción pudiendo ser mecanizado o manual. Además de explotaciones en cerros o montañas, existen las arenas de río o de vegas aluviales que pueden explotarse, considerando las características de estos sistemas.

- **Canteras**

Son sistemas de explotación, donde se obtienen las piedras para construcción, obtenidas de formaciones rocosas, generalmente de areniscas. Su proceso productivo

³¹ Pueden ser consolidados o friables

en general es manual y los productos obtenidos son piedra para cimentaciones, mampostería y enchapes, entre otros.

- **Receberas**

Son extracciones de material de peña, compuestos fundamentalmente de elementos pétreos siliceo-arcillosos, provenientes de la explotación de los estratos de liditas o plaeners que normalmente se alternan con areniscas. Esta clase de material se usa para afirmado de pisos, rellenos, bases de vías, como otro tipo de extracciones puede hacerse de forma manual o mecanizada.

- **Plantas de lavados de Arena**

Son espacios con montajes destinados a lavar arenas de peña o río, eliminando impurezas y material arcilloso, obteniendo una arena limpia y de consistencia firme.

- **Planta de agregados**

Son industrias que procesan materiales pétreos o gravillas mezclándolos con cementos para producir concretos.

Para este estudio se considera cualquier tipo de explotación como cantera, es decir: de acuerdo con el artículo 112 del Código Colombiano de Minas, la cantera se define como el sistema de explotación a cielo abierto que permite la extracción de rocas y minerales no disgregados utilizados como materiales de construcción. De un sistema de explotación como este se extrae, **agregados pétreos estructurales**; es decir, *“materiales que por sus características físicas, químicas y mecánicas, son útiles en todo tipo de obras de infraestructura”*. Estos materiales pétreos, pueden de la misma forma extraerse del cauce o riberas de los ríos. Sin embargo, estos materiales debieran extraerse de la cantera, pues es un sistema estático, en equilibrio, que es de más fácil manejo, frente, a sistemas fluviales, dinámicos.

Las canteras en la zona de los cerros orientales, son organizaciones complejas, muchas veces por fuera de marcos legales e institucionales. En este sentido, la clasificación que se utiliza de acuerdo con CENAC (1977), según el tipo de proceso productivo, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 17. Clasificación de tipo de canteras según proceso productivo

Tipo de explotación	Características
Altamente mecanizada	En general, se organizan como Sociedades Anónimas, utilizando maquinaria y equipo para sus operaciones (90% al 100%).
Mecanizada	En las canteras Mecanizadas predominan las Sociedades de Responsabilidad Limitada. En este tipo de explotaciones se utiliza maquinaria para la mayoría de operaciones, en especial procesos específicos como molinos o equipo para el lavado de arena (50% al 90%).
Semi mecanizada	Esta clase de explotaciones utiliza algún equipo en algún estadio de su producción (0 al 50%), en general vehículos como buldóceres o volquetas. Estas organizaciones en general son Sociedades de Hecho.
Manual	Son el tipo de explotación más frecuente, se caracteriza por la ausencia de maquinaria en sus procesos, siendo la fuerza humana y/o animal su fuente. Se caracteriza por ser sociedades de hecho, conformadas generalmente por vecinos del lugar donde se encuentre la explotación.

Fuente: Elaboración propia con base en CENAC (1977)

Estas organizaciones se establecieron en el territorio bajo tres modalidades de tenencia del terreno, estas son, *en propiedad*, cuando la organización es dueña del terreno que explota (solo se dan en explotaciones altamente mecanizadas), *con pago de regalías*, cuando la empresa no es propietaria del terreno y debe pagar al propietario una suma de dinero por metro cúbico de material extraído y finalmente, *en arriendo*, en este caso la empresa no es propietaria del terreno y debe pagar una suma mensual fija por concepto de alquiler del terreno (CENAC, 1977; Delgado, 1982).

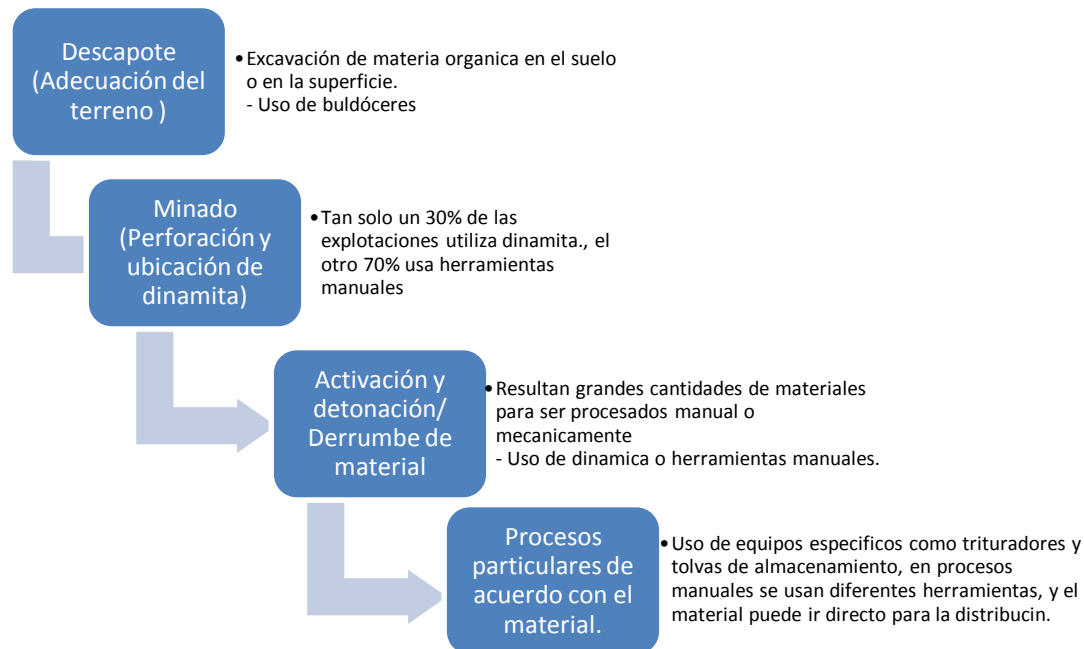
Correa (2000, p. 51) señala cuatro aspectos fundamentales a tener en cuenta para realizar actividades de explotación, además de adicionar el recurso hídrico como elemento de importancia, a continuación se describen los aspectos apremiantes en cualquier sistema sea mecanizado o manual:

- Localización geográfica: Debe situarse con exactitud el lugar de extracción y la relación con sus vecinos.

- **Tratamiento del Material:** Es fundamental la medición del ruido y las tres componentes de la vibración (vertical, transversal y longitudinal) lo cual puede hacerse mediante un sismógrafo.
- **Paisaje:** Los cambios en la morfología del paisaje son la alteración más descriptible en este tipo de explotaciones mineras por la transformación de volúmenes, movimiento de tierras, descapotes, pérdidas de vegetación y de suelos, aumento de la erosión, etc. Estos cambios producen en la fisiografía de los cerros un impacto visual grande, que se traduce en apreciaciones estéticas negativas.
- **Vegetación:** Siendo el clima uno de los factores principales que influye en la vegetación debe realizarse un estudio del mismo que permita seleccionar las especies más adaptables. Por otro lado, considerar la vegetación nativa, para la recuperación ecológica de la zona, una vez finalizado el ciclo de explotación.
- **Agua:** Es vital identificar los cuerpos de agua que pueden ser afectados con la puesta en marcha de la explotación y con él, el ciclo hídrico.

▪ **Proceso Productivo**

Las extracciones de derivados pétreos, a nivel general poseen tres etapas: montaje, actividad y desmonte. Se consideran las dos primeras etapas, por considerar que son las que poseen más impactos en el entorno natural. La siguiente descripción del proceso productivo, se genera en relación al periodo de incremento de explotaciones en la capital del país, para este aparte se siguen los estudios de Delgado (1982) y Pelaez (1991), y se presenta un diagrama del proceso productivo en la siguiente figura:

Figura 11. Proceso productivo de las canteras en Bogotá en 1991

Fuente: Elaboración propia basado en (Delgado, 1982)

Las canteras se explotan efectuando cortes o excavaciones, que por la calidad de sus formaciones ofrecen los mejores materiales, tanto de roca dura, como de arena o recebo. Antes de proceder a la explotación es necesario adecuar el terreno retirando la capa de materia orgánica que cubre las rocas aprovechables. Más allá de solo remover la capa vegetal, que de acuerdo a estudios de la época es *"muy pobre y con escasa vegetación"* (Pelaez, 1991, p. 24), se afecta el equilibrio ecológico del ecosistema. Esta labor de limpieza se realiza por medio de buldóceres que remueven la tierra y el material vegetal hasta dejar libre el área de explotación. Esta actividad se denomina, tanto en lenguaje técnico como vulgar con el término de "descapote" (Delgado, 1982).

El proceso continúa con el "minado", operación que consiste en realizar perforaciones en sitios claves dentro de la peña, generalmente material compacto. Allí se introducen cantidades suficientes de explosivos, en especial dinamita con el fin de realizar perforaciones en la piedra y derrumbar de manera más sencilla los materiales. Mendez (1974), afirma que en la zona, un 70% de las explotaciones tan solo utiliza herramientas, manuales, mientras alrededor de un 30% utilizan maquinaria y dinamita. En las organizaciones con mayor grado de mecanización la operación de perforación se hace con taladros accionados con compresores. No obstante, en la mayoría de los casos esta

dispendiosa labor es efectuada por los obreros llamados "taqueros" que, con rústicos barrenos y sin mayores precauciones, emprenden la tarea de minar un frente, cuya acción requiere varios días.

Una vez terminado el minado, se encienden las mechas de los tacos de dinamita que causan explosiones en serie, dejando grandes cantidades de materiales listos para ser procesados mecánica o manualmente de acuerdo al tipo de explotación. Delgado (1982, p. 65) afirma que *"las explosiones se generan sin tomar ninguna medida de prevención, ni para quienes realizan la labor de encendido de los tacos, ni para las demás personas que trabajan en la cantera y menos para quienes habitan en las cercanías."*

Cuando la detonación del material deseado no es completamente efectiva, es necesario derrumbar los materiales utilizando elementos manuales como cuñas de madera que se introducen en las grietas, o inyectando agua por entre las mismas, para que una vez saturadas por la humedad las masas de tierra se remuevan por efectos de la gravedad. Hecho que primero aumenta la presión por los recursos hídricos y genera inseguridad a los trabajadores, pues no se controla este procedimiento y se pueden generar derrumbes. De estos depósitos se extraen las piedras más grandes, las cuales se utilizan para producir piedra songa, y rajón de forma manual, ya que para esta operación no existen equipos adecuados, utilizándose picos almádenas, cuñas de acero y martillos pesados (Ver Ilustración 9).

Ilustración 9. Producción de piedra songa de forma manual en la Cantera Soratama en 1982



Fuente: Tomado de Delgado (1982)

En las canteras mecanizadas los materiales derrumbados se trasladan a otro sitio para ser procesados con equipos adecuados, entre ellos, alimentadores, trituradores, lavadores, clasificadores, transportadores, y tolvas de almacenamiento. En contraste, en los procesos manuales el material se trabaja en el mismo lugar del derrumbe, y si se utiliza alguna maquinaria, por ejemplo, molino, este se traslada al frente específico.

▪ **Maquinaria para la explotación, insumos requeridos y mano de obra**

En general, para la explotación de las canteras se utilizan diferentes tipos de maquinaria o herramientas, para lograr la explotación a un nivel óptimo. De acuerdo a Gonzales (1971), los equipos e insumos utilizados por esta clase de actividades mineras son:

Tabla 18. Maquinaria e insumos utilizados por una cantera en 1971.

Equipos Canteras mecanizadas	Consumo diario (Mecanizadas)	Equipos Canteras semimecanizadas o manuales	Consumo diario (Semi - Manuales)
1 Cargador	30 Galones de ACPM	2 Trituradoras	20 Galones de Gasolina
1 Buldócer	45 Galones de Gasolina	2 Clasificadoras	1/2 Galón de lubricante
3 Trituradoras	3 Galones de lubricantes	3 Picas	
3 Clasificadores	Dinamita*	4 Palas	
4 Picas	Pólvora negra*	2 Carretillas	
4 Palas			
1 Volqueta			

*Uso de acuerdo al minado de nuevas explotaciones

Fuente: Elaboración propia basada en Gonzales (1971)

El CENAC (1977), sostiene que el consumo eléctrico de las empresas altamente mecanizadas (500 m³/día) registran 4.35 KW/h por metro cubico de material producido, mientras, las canteras de menor volumen productivo (200 m³/día) presentaron una relación mayor 15kw por metro cúbico de material producido. Un elemento esencial que no se encontró en los estudios revisados, es el consumo de agua por explotación, dado que muchas de las canteras obtenían el agua de las quebradas que componen los cerros orientales, de manera gratuita y sin ningún control sobre su uso. En ocasiones, llevando al desecamiento de dichos cuerpos de agua.

La mano de obra en esta actividad, ha estado caracterizada por la informalidad, la falta de seguridad en las labores y el trabajo infantil. Solo el 10% de la población laboral en 1974 se encontraba con prestaciones sociales, mientras un 90% no lo estaba (Mendez,

1974). Por tanto la población involucrada con las canteras de acuerdo a estadísticas oficiales ha sido la siguiente, mientras en 1976 empleaba a 2.684 personas, quince años después llegó a emplear a 5400 (CENAC, 1977; Pelaez, 1991). Sin embargo, la cifra aumentará, si se le agregan los trabajadores menores de edad, que en estas empresas estuvieron presentes desde su inicio, según el informe *Trabajadores menores de edad en empresas pequeñas de las canteras y chircales de Bogotá*, realizado por Salazar (1985), identifica esta tendencia en canteras del norte de la ciudad (Ilustración 10)

Ilustración 10. Trabajo infantil en canteras del norte de Bogotá en 1985

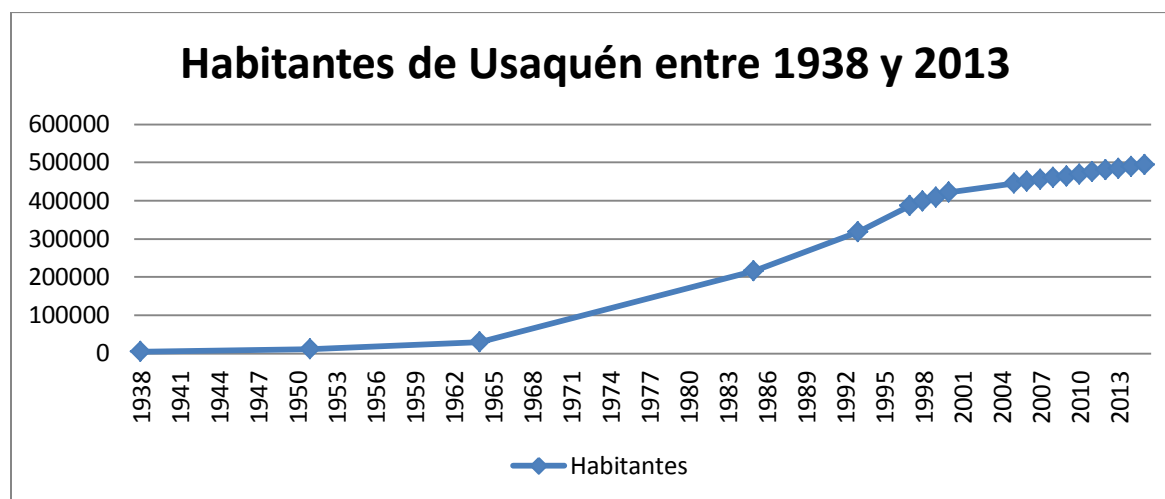


Fuente: Tomado de Salazar (1985)

4.2.3 Usaquén

La localidad de Usaquén ha estado directamente ligada con las actividades extractivas, desde el inicio del siglo XX se han establecido canteras en este territorio de los cerros orientales. De hecho, su urbanización se debió en gran parte a la acción de estas y de la parcelación de las haciendas después de la anexión de Usaquén al Distrito Especial de Bogotá. La generación de desarrollos progresivos en las laderas de las montañas y de desarrollos planificados en las antiguas haciendas, se da con el soporte de los flujos de materiales de construcción brindados por las canteras.

Como se observa en la Figura 12, la población en esta localidad, ha pasado de 4.617 en el año de 1938 a 484.764 habitantes en 2013, es decir en 75 años la población ha aumentado 105 veces. Lo cual, además de incrementar los flujos de materiales de construcción, agua, alimentos y energía, genera efectos y presiones sobre los ecosistemas que proveen estos bienes y servicios ambientales. En este sentido, hay una relación entre las actividades extractivas, la subsecuente urbanización y el daño ecológico al entorno natural de los cerros nororientales.

Figura 12. Evolución de la población de Usaquén entre 1938 y 2013

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a (Contraloría General de la Nación, 1941; DANE - SDP, 2005; DANE, 1954, 1969, 1980, 1986, 1996a, 1996b, 2005)

El aumento de la población, ha seguido el camino del número de explotaciones de derivados pétreos, ya que ofrece ofertas laborales y materiales para la construcción de viviendas e infraestructura. En la Tabla 19, se muestra el incremento de frentes, desde 3 en el año 1930 a 186 en el año 2000, aumentando alrededor de 60 veces. Los flujos materiales y energéticos desde los cerros a la ciudad se fueron incrementando considerablemente, hasta desplazarse fuera de la ciudad.

Tabla 19. Explotaciones de derivados pétreos en Usaquén en el siglo XX

Año	Número de explotaciones
1930	3
1940	14
1971	63
1974	80
1976*	161
1991	178
2000	186

*En conjunto con sectores de sopo y la calera

Fuente: Elaboración propia con base en CENAC (1977); Correa (2000); Estado Mayor General (1930); Gonzales (1971); Instituto Geográfico Militar y Catastral (1946); Mendez (1974); Pelaez (1991)

Algunas de las principales canteras de la zona de Usaquén se muestran a continuación en la Tabla 20 y son las zonas en que se observan en el mapa de Actividad Minera en el Anexo Cartográfico (B).

Tabla 20. Canteras representativas de la localidad de Usaquén

Nombre	Localización	Descripción del Material
Recebera El Bohío	Cra 7 CII 127 (Carretera Central del Norte).	Estratos de areniscas con intercalaciones de arcillolitas, bloques, cantos y gravas arenoarcillosas blanco amarillento.
Recebera San Carlos	Cra 7 CII 153 (Carretera Central del Norte).	Areniscas con intercalaciones de arcillolitas. El material explotado tiene bloques 1.0 * .050 m.
San Cristóbal I	Cra 7 CII 162 (villa nidia)	Estrato de arenisca en la parte superior y arcillolitas en la parte inferior.
San Cristóbal II (Maquinaria y agregados servita)	Av.7#164-20 (carretera central del Norte)	Estratos de areniscas. Arenas medias y finas color amarillo. Vol. estimado: 1*10 ⁶ m ³ .
Cantera El Porvenir	AV.7 CII 166 (carretera central del Norte)	Estratos de areniscas. Arenas gruesas, medias y finas color amarillo. Se presentan bloques de 1 * 1 m. en un 20%. Vol. estimado: 900*10 ³ m ³ .
Soratama ³²	Av. 7 CII 166	Estratos de areniscas. Se obtienen arenas de grano fino a grueso color amarillo y blanco grueso color amarillo y blanco Vol. estimado: 210*10 ³ m ³ .
Areneras La Roca y La Cita	AV.7#171-98 (Carretera Central de Norte)	Estratos de areniscas friables. Bloques. Vol. estimado >1200*10 ³ m ³
Areneras El Codito	Av. 7 CII 172 (Carretera Central de Norte)	Estratos de areniscas friables. Arenas de grano grueso a fino color amarillo. Vol. estimado >1*10 ⁶ m ³ .
Buenavista	Av. 7 CII. 188	Estratos de areniscas friables. Arenas gruesas a finas de color amarillo rojizo Vol. estimado 365*10 ³ m ³ .
Cantera La Cabaña.	K 8.2 a partir de la Caro hacia Bogotá (carretera central del norte)	Estratos de areniscas muy fracturadas con intercalaciones muy arcillosas. El material extraído y rodado contiene bloques de más de 1 m. (15%) bloques de 30' 30 cm. (30%) y gravas areno arcillosas color amarillo. Vol. estimado 100*10 ³ m ³ .

³² La Cantera Soratama fue propiedad de la Secretaría de Obras Públicas de la Ciudad de Bogotá, siendo la única explotación de propiedad pública de la zona nororiental, después de la declaración de la Reserva Forestal, se convirtió en un aula Ambiental.

Cantera El Carmen	K 6.2 a partir de la Caro (carretera central del norte)	Estratos de areniscas y coluvión. arcilloso. El material explotado está compuesto por cantos 30%, bloques 20% y gravas areno arcillosas color amarillo. Vol. estimado >1000*10 m ³ .
Bella Escocia	K. 3.6 a partir de la Caro hacia Bogotá	Estratos de areniscas. Vol. estimado 280*10' m'.
Cantera de Fusca	A 31 K. Desde La Caro	Estratos de areniscas silíceas bien cementadas, duras.

Fuente: Tomado de Correa (2000, p. 53)

Estas canteras actualmente no están operando de acuerdo a la normativa, que prohíbe la explotación de derivados pétreos en el Distrito Capital de Bogotá. Sin embargo, fueron las canteras que mayor producción tuvieron en la segunda mitad del siglo XX en la sabana de Bogotá.

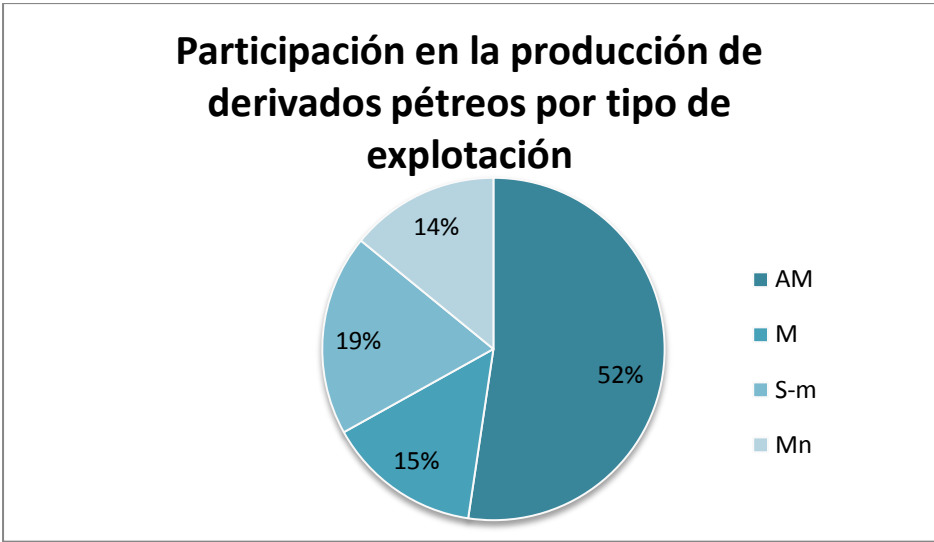
4.3 Análisis de flujo de materiales de las actividades extractivas en el año de 1976 en la zona nororiental de Bogotá.

En el año de 1976, el sector de actividades extractivas en la ciudad de Bogotá se consolidaba a nivel regional. La producción era una de las más altas registradas, y el número de explotaciones era considerable. Sin embargo, con la normativa promulgada por el INDERENA y luego regulada por el Ministerio de Agricultura, se genera una transformación de las dinámicas en el territorio, como se mencionó anteriormente. Por esta razón, el año de 1976 es un hito para las dinámicas socioeconómicas, ecológicas y culturales en Bogotá y su relación con los cerros.

En la capital del país, de acuerdo al estudio del CENAC (1977) para el año a analizar, existen 325 explotaciones, de las cuales 29 son Altamente Mecanizadas (AM), 14 Mecanizadas (M), 128 Semi-mecanizadas (S-m) y 154 Manuales (Mn)³³. La producción de pétreos es la mayor del país por su volumen, por cuanto se registraron 4.015,8 miles de metros cúbicos, es decir alrededor de 4 millones de metros cúbicos. A continuación, en la Figura 13 se describe la producción por tipo de explotación:

³³ Es importante señalar que muchas de estas empresas eran sociedades de hecho y no poseían licencia para explotar, así como sistemas de producción anti técnico y vinculadas a trabajo infantil.

Figura 13. Participación en la producción anual de derivados pétreos por tipo de empresa en 1977



Fuente: Elaboración propia con base en CENAC (1977)

Como se puede observar, a pesar del poco número de empresas altamente tecnificadas y mecanizadas, estas concentran alrededor del 67% de la producción distrital. Mientras, las menos tecnificadas, aunque representan un gran número, solo aportan un 33%. Esto debido a la productividad de cada una de ellas, la cual aumenta de acuerdo con el grado de tecnificación de la misma.

En cuanto al material producido, en la Tabla 21 se observa el volumen de materiales comercializados de acuerdo al tipo (Arena, Gravilla, Triturado, Piedra y Recebo), con sus correspondientes características. Cabe destacar la producción de Arena y Recebo con un 35% y 34% respectivamente, sobresaliendo la Arena de Peña, y la de Gravilla con un 22%. Para la generación de estos flujos de materiales, las explotaciones en la ciudad empleaban a 2.684 personas aproximadamente, mayoritariamente en las empresas de tipo manual, en cuyas instalaciones también laboraban mujeres y niños (CENAC, 1977).

Tabla 21. Producción anual productos pétreos Bogotá 1976

Producto	PRODUCCIÓN ANUAL	
	(Miles de metros cúbicos)	%
ARENA	1.388,3	34,57
De río	342,1	
De peña	1.046,2	
GRAVILLA	897,2	22,34

Común	712,4		
Fina	173,6		
Mixta	11,2		
TRITURADO		137,4	3,42
De primera	58		
De segunda	79,4		
PIEDRA		233,7	5,82
Media songa	124,7		
Songa	2,5		
Rajón	102,3		
Piedra de enchape	3,3		
Bloque	0,9		
RECEBO		1.359,2	33,85
TOTAL		4.015,8	100

Fuente: Elaboración propia con base en CENAC (1977)

4.3.1 Perfil metabólico de las explotaciones en la zona Nororiental de Bogotá en 1976

Para realizar el perfil metabólico de las actividades extractivas, se procede a indicar el número de unidades productoras, localizaciones y materiales explotados, para continuar con sus características. Por otro lado, se registra el consumo y la transformación de la energía que estas explotaciones emplean. Así mismo, se deja claro que no solo se considera energía y materiales, el metabolismo socioecológico integra lo inmaterial como parte fundamental de los procesos de transiciones, en este sentido las cuestiones simbólicas, culturales y sociales, entre otras deben estar presentes.

Delgado (1982) señala la existencia de 161 explotaciones en la zona norte de los Cerros Orientales, de las 325 ubicadas en Bogotá para 1976. Entre las canteras de Usaquéen predominan las empresas Manuales y Semi-mecanizadas, las cuales constituyen el 94% del total de empresas en la zona, mientras las empresas Altamente Mecanizadas en minoría numérica, generan el 44% de la producción de la zona. Se extrae fundamentalmente arena de peña y recebo.

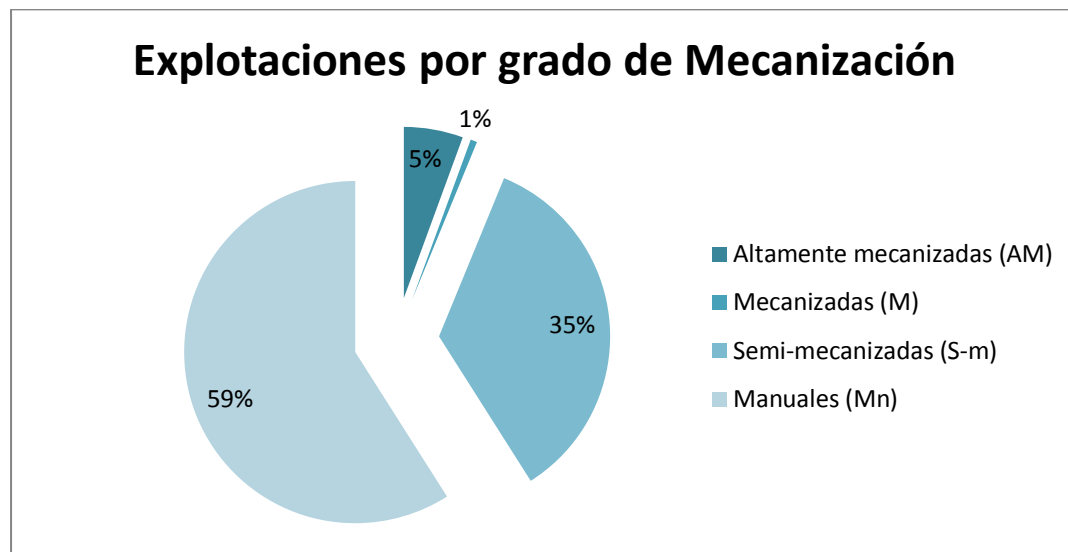
▪ Flujo de Materiales

Para generar e integrar el flujo de materiales en un perfil metabólico, se consideraron los materiales tanto comercializados, como los materiales desperdiciados y su participación en los procesos metabólicos. Se emplea diagramas Sankey para graficar los flujos, estos

se realizan con la ayuda del software Elsankey, estableciendo su intensidad y las conexiones entre los miembros del sistema.

En esta área existieron 161 explotaciones, en las cuales se desarrollaba la producción de agregados pétreos (Arena, Gravilla, Triturado, Recebo y Piedra). En la Figura 14 se muestra la composición de las explotaciones de acuerdo a su grado de mecanización. Claramente las explotaciones Manuales (95 registros) y Semi-mecanizadas (56 registros) tienen preponderancia sobre otro tipo de explotaciones. Estos grados de mecanización baja, suponen una productividad menor, no obstante, un número mayor de mano de obra y singularidades que tendrán preponderancia en el análisis del metabolismo socioecológico del sistema.

Figura 14. Número de explotaciones en la zona Nororiental de Bogotá en porcentaje

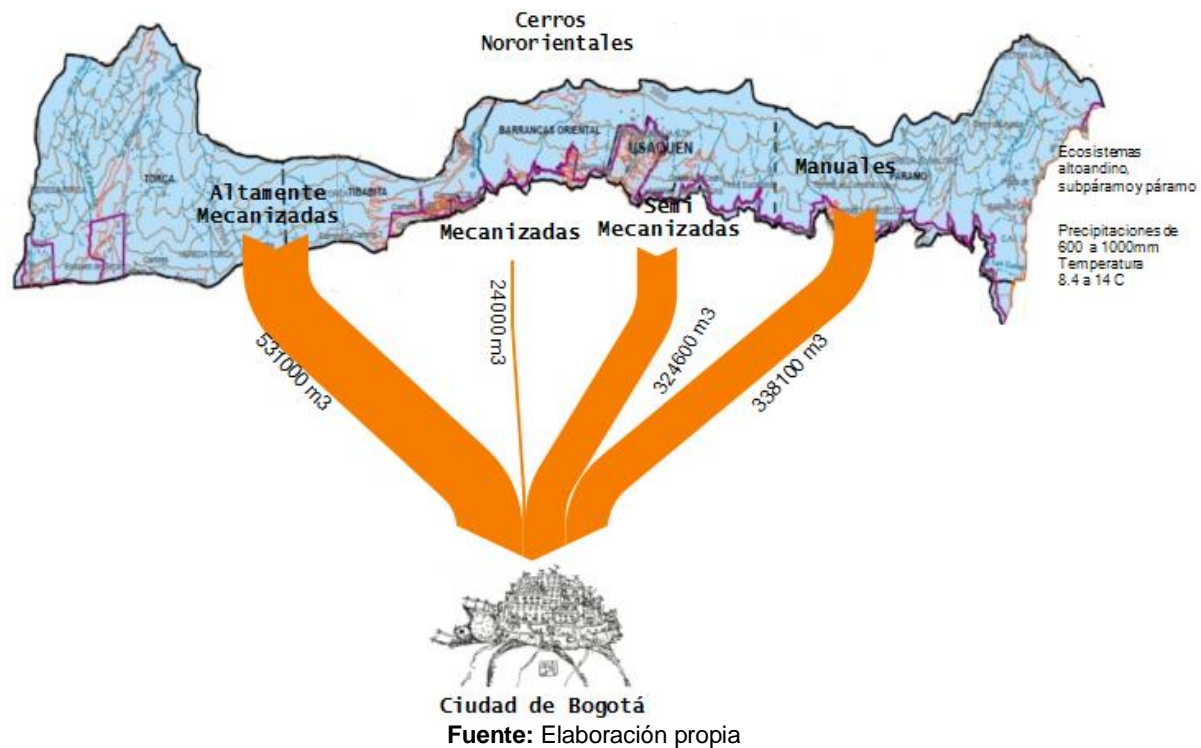


Fuente: Elaboración propia con base en CENAC (1977)

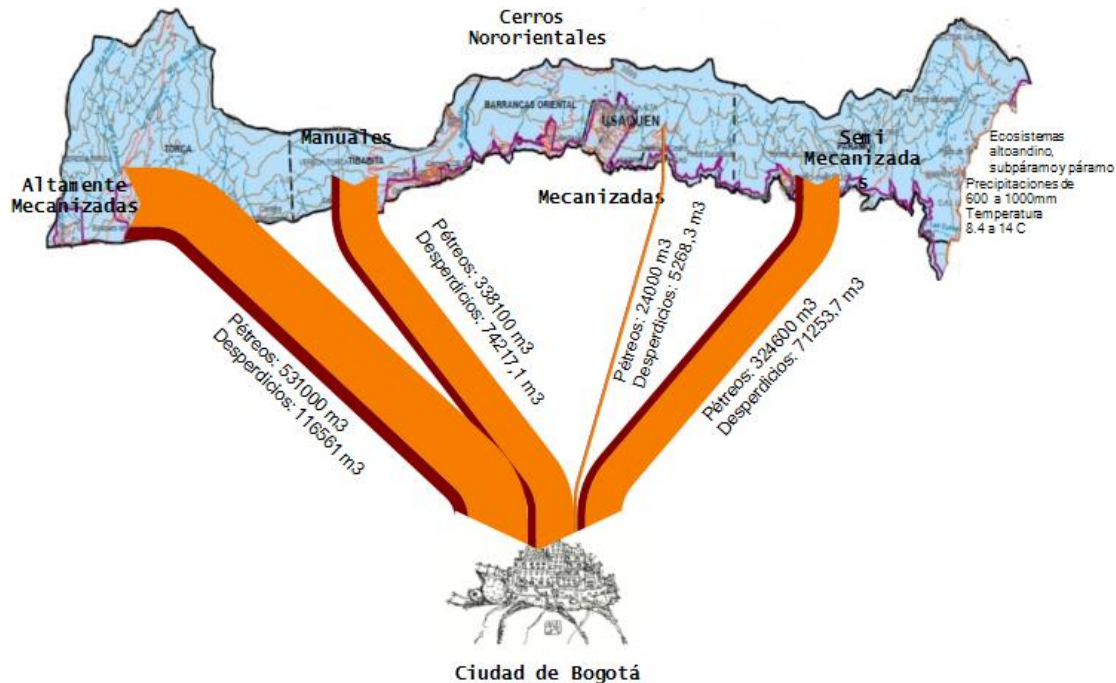
De acuerdo a los datos del CENAC (1977), la producción de derivados pétreos de las explotaciones ubicadas en la zona norte de los cerros orientales, fue de 1.217,7 miles de metros cúbicos, lo que corresponde a un 30,3% de la producción en la ciudad de Bogotá. Siendo la segunda zona más productiva de la sabana de Bogotá., despues de la zona sur de los cerros orientales, con 1.388 toneladas. A continuación, se presenta el flujo de materiales de las actividades extractivas en el escenario de análisis para el año de 1976, con miras a realizar un perfil metabólico de las mismas.

Las explotaciones altamente mecanizadas (AM), las cuales son 9 en el territorio, comercializaron 531.000 metros cúbicos, la única explotación mecanizada (M) comercializó 24.000 metros cúbicos, las 56 explotaciones semi-mecanizadas (S-m) vendieron 324.600 metros cúbicos y las 96 manuales (Mn) comercializaron 338.100 metros cúbicos (Ver Figura 15).

Figura 15. Diagrama Sankey de material comercializado por nivel tecnológico



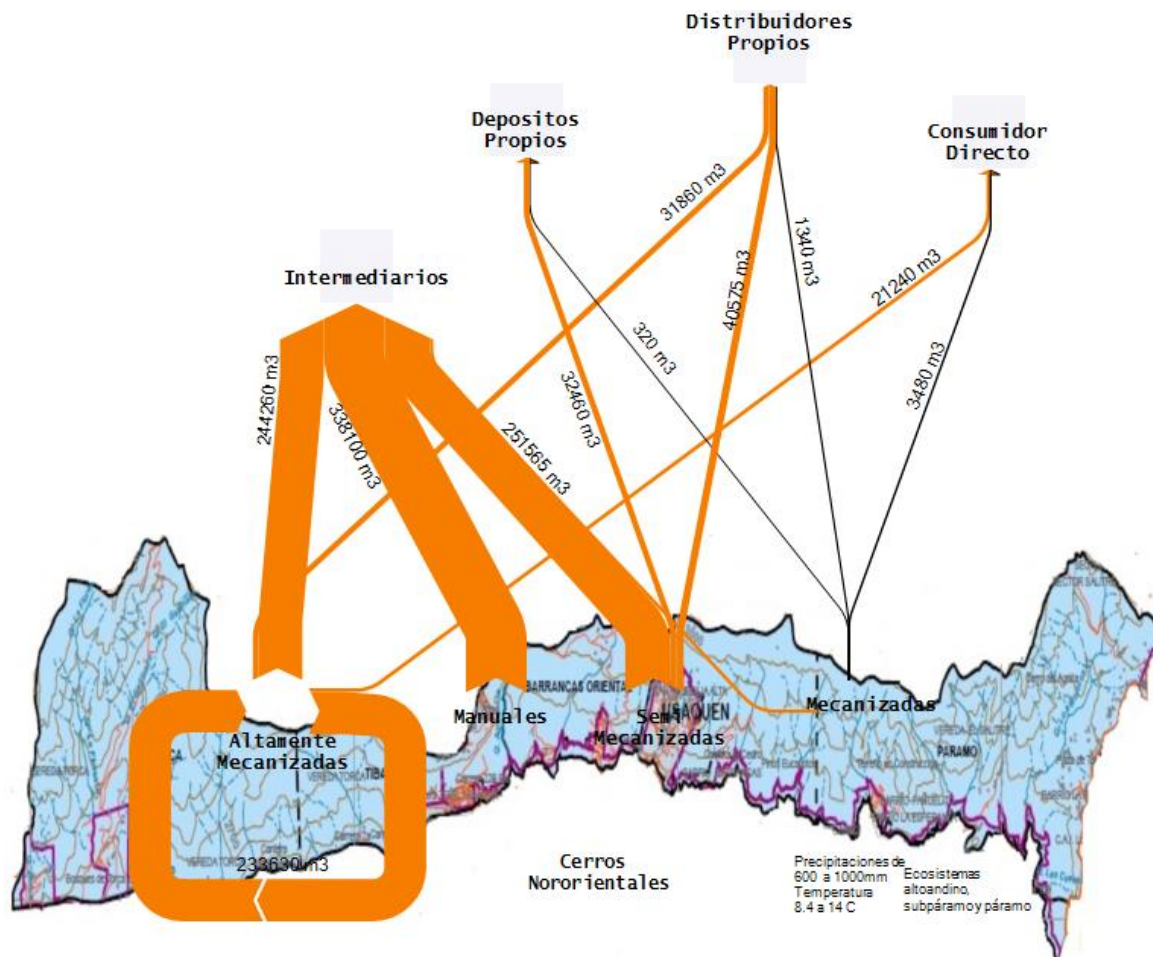
Sin embargo, Delgado (1982) sostiene que existe un porcentaje de desperdicio del 18% entre el producto inicial explotado y el producto final vendido. Por lo que se puede afirmar que en realidad se extrajeron de los cerros nororientales 1'485.000 metros cúbicos (Ver Figura 16), para todas las explotaciones de la zona de los cerros nororientales. Estos materiales en general son materia orgánica del proceso de descapote, así como material que no cumple con las características buscadas para agregados pétreos.

Figura 16. Diagrama Sankey del total de materiales por nivel tecnológico de la explotación

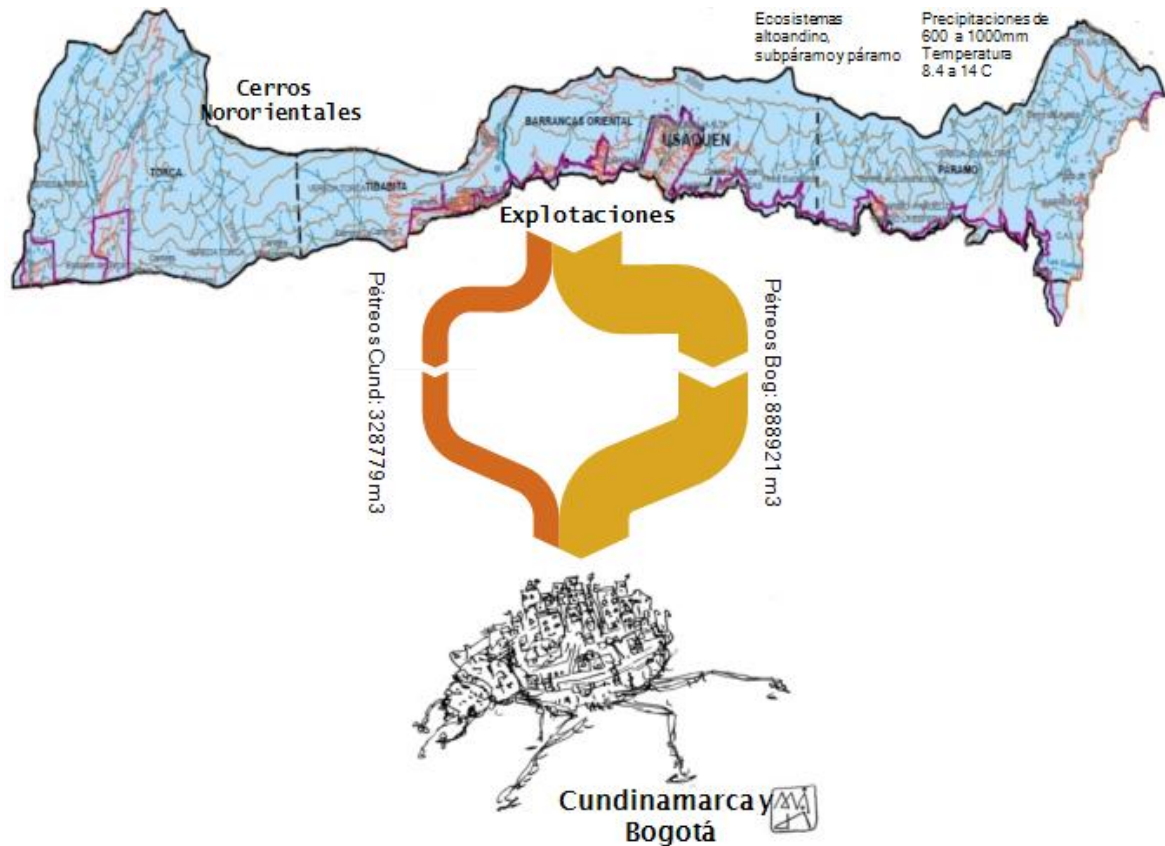
Fuente: Elaboración propia

Del volumen explotado y vendido, para las empresas AM, el 46% de su producción es vendido a intermediarios (En general volqueteros organizados en pequeñas asociaciones o individuales), mientras, un 44% de las explotaciones lo consumen al interior de sus procesos para generar otro tipo de productos más elaborados, tal como cemento y concreto. Un 6% lo comercializan por medio de distribuidores propios y un 4% restante lo comercializan a consumidores directos (CENAC, 1977).

Por otra parte, para la única explotación Mecanizada, el 78,8% de su producción es comercializada a través de volqueteros, el 14,5% a consumidores directos, el 5,5% a través de distribuidores propios, y un 1,3% a través de depósitos propios. Para las explotaciones Semimecanizadas, el 77,5% del volumen comercializado, es por medio de intermediarios, el 12,5% a través lo distribuye con su infraestructura y un 10% por medio de depósitos propios. Para las explotaciones manuales, en general se realiza por medio de volqueteros (CENAC, 1977). En la Figura 17, se observa un diagrama Sankey para representar el modelo de distribución (Una de las etapas del metabolismo socioecológico de acuerdo a Toledo y Gonzalez de Molina (2007)). Se observa el papel determinante de los intermediarios (Volqueteros) en la distribución de los materiales, con alrededor de 55% del material transportado.

Figura 17. Diagrama Sankey del proceso de distribución de agregados pétreos.**Fuente:** Elaboración propia

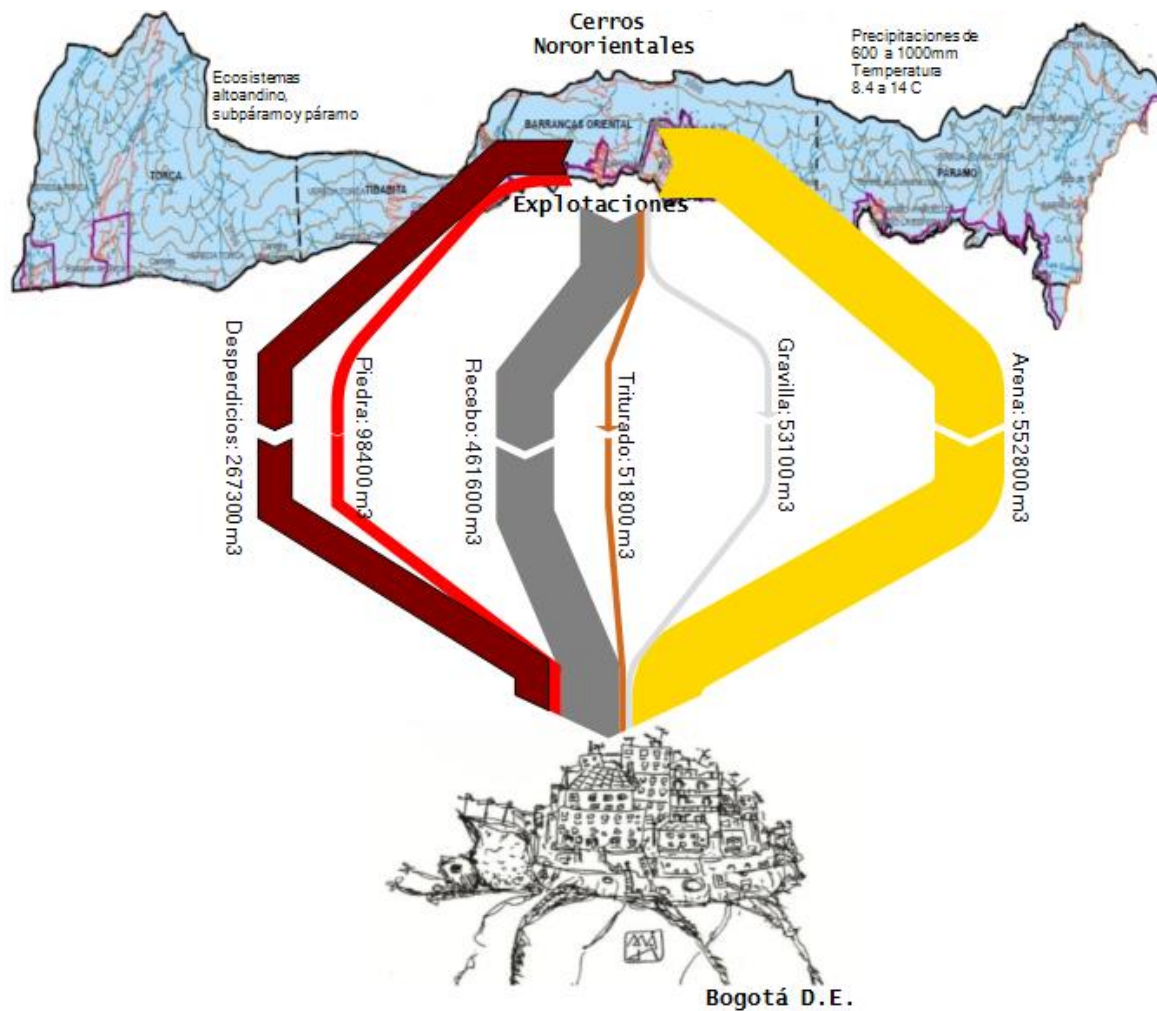
A nivel de las zonas hasta donde los flujos de materiales se dirigen, el 73% del volumen de agregados pétreos, es con destino a la ciudad de Bogotá, mientras un 27% a nivel departamental, es decir a Cundinamarca, sin embargo como se plasma en Figura 18, corresponde a un territorio en el cual la ciudad se encuentra dentro de la región, por lo tanto se considera un sistema mayor.

Figura 18. Diagrama Sankey de los flujos regionales

Fuente: Elaboración propia

Para realizar un análisis de mayor detalle, es decir, por clase de materiales ver Figura 19, donde se consideran los siguientes flujos, para Arena, se extrajeron 552,8 miles de metros cúbicos, que representa un 46% de los materiales comercializados, la Gravilla con 53,1 miles de metros cúbicos, es decir un 4%, los triturados con 51,8 miles de metros cúbicos, un 4%, el Recebo con 461,6 miles de metros cúbicos, corresponde a un 38% del material comercializado y la piedra con 98,4 miles de metros cúbicos representó 8% de la producción total.

Figura 19. Diagrama Sankey por clase de material

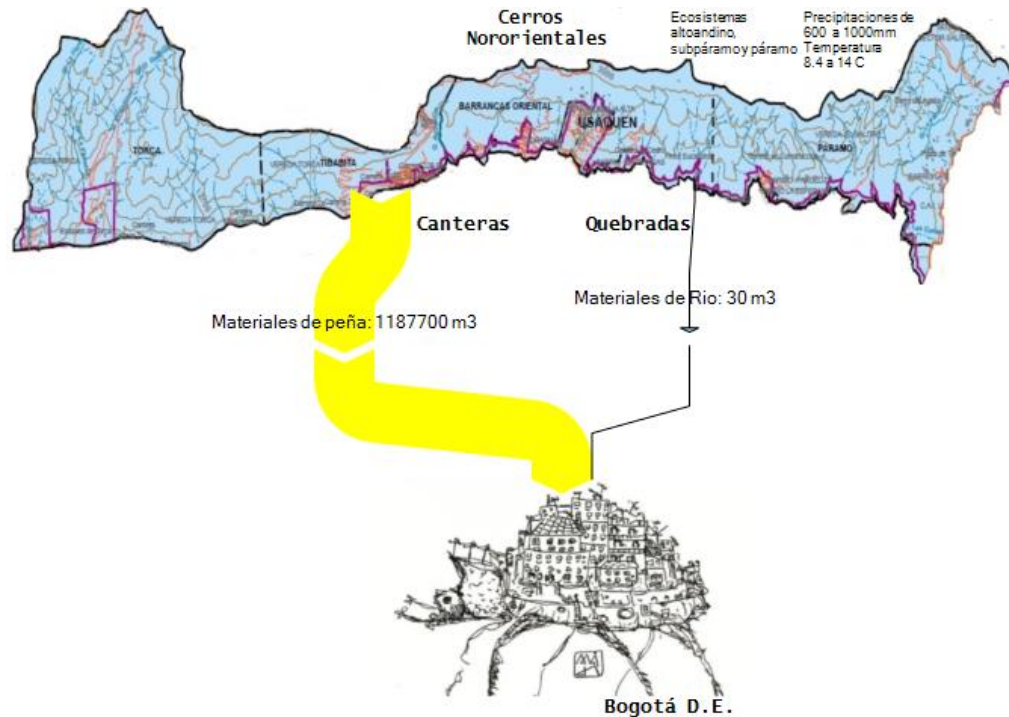


Fuente: Elaboración propia

Tal como a nivel distrital, la tendencia en la extracción de Arena y Gravilla es la mayor, sin embargo los materiales considerados desperdicios ocupan el tercer lugar en cuanto a volumen de extracción. Así mismo, hay que mencionar que este tipo de materiales no tiene canales de distribución claros, pero hacen parte importante del flujo de materiales.

A nivel de procedencia del material, se comercializaron 1.187,7 miles de metros cúbicos de material de peña y 30 mil metros cúbicos de material de río, es decir, material que se encuentra ubicado en la base cuerpos hídricos. En la Figura 20, se plasman los flujos de materiales de acuerdo a su fuente.

Figura 20. Diagrama Sankey de agregados pétreos de acuerdo a su fuente.



Fuente: Elaboración propia

▪ Flujo Energético

Para realizar el flujo energético, e integrarlo al perfil metabólico que hace parte de este análisis, se considera el tiempo de trabajo de la mano de obra que labora en las empresas mineras, así como el consumo energético (en galones de ACPM y Gasolina), la unidad utilizada será el British Termical Unit (BTU) ya que las referencias encontradas presentan estas unidades, de la misma manera se utiliza el Joule, por cuanto el la unidad estándar del Sistema Internacional.

La zona nororiental de los cerros generó, de acuerdo con CENAC (1977), 1300 empleos, que representa un 48,8% del total de empleados en las canteras que abastecieron a la ciudad de Bogotá. Caracterizándose de la siguiente manera de acuerdo a su nivel tecnológico, las empresas AM ocupan 29 personas cada una, las M 9, las Semi 7,6 y las manuales 7,7 respectivamente. La jornada laboral estas canteras era de 11 horas en promedio y 287 días de trabajo, de acuerdo al estudio de Mendez (1974).

Mientras, Giampetro y Pimentel (1990) sostienen que el poder energético de un hombre adulto es 90 Watts o 0,12 HP³⁴ por hora, mientras, la American Physical Society (1996) sostiene que 1 HP corresponde a 2544,43 BTU. Dada la anterior información, a continuación, se realiza el cálculo del calor desprendido anual de la mano de obra en este sistema:

Primero se calcula el calor desprendido por hora laboral:

Ecuación 1 $Calor\ desprendido\ por\ hora\ (BTU/h) = 0,12\ Hp * 2544,43\ BTU$

Ecuación 2 $Calor\ desprendido\ por\ hora\ (BTU/h) = 305,33(\frac{Btu}{h})$

Por lo tanto el calor desprendido en una hora laboral es de 305,3319867 BTU hora.

Para halla el calor desprendido de una jornada diaria de trabajo, se multiplica por 11 horas:

Ecuación 3 $Calor\ desprendido\ por\ día\ (BTU/d) = 3.358,65(\frac{Btu}{d})$

Y dados 287 días de trabajo en el año, se calcula el desprendimiento de calor anual:

Ecuación 4 $Calor\ desprendido\ por\ año\ (BTU/año) = 963.213,37(\frac{Btu}{año})$

El calor desprendido por un trabajador de las canteras en un año laboral es de 963.213,37 BTU, dado que las canteras empleaban a 1300 obreros, el calor desprendido por la mano de obra en el año de 1976 es:

Ecuación 5 $Calor\ desprendido\ por\ año\ mano\ de\ obra\ (BTU/año) = 1.252'177.382(\frac{Btu}{año})$

O

Ecuación 6 $Calor\ desprendido\ por\ año\ mano\ de\ obra\ (GBTU/año) = 1,25\ GBTU$

En este sentido, el calor desprendido es de 1.252'177.382BTU para el año de 1976, o 1,25 GBTUs³⁵ al año. En términos de Joule (J), serán 1.321,12 GJ :

³⁴ Horse Power

³⁵ Un GBTU corresponde a $1 * 10^9$ BTUs

Ecuación 7
$$1,25218 \text{ GBTU} * 1.055,056 \frac{\text{GJ}}{\text{GBTU}} = 1.321,12 \text{ GJ}$$

Por otro lado, los insumos necesarios en 1976 por cantera para el proceso productivo de explotaciones AM y M diariamente, son 30 galones de ACPM, y 45 de gasolina, mientras, para explotaciones S-m y Manuales, utilizan 20 galones de gasolina (Gonzales, 1971).

Amorocho (2000), analizó el poder calórico de los combustibles colombianos, así, el ACPM posee 139.000 BTU, mientras la gasolina 132.400 BTU. Por tanto, con el número de canteras Mecanizadas y no mecanizadas, el consumo diario (Ver Tabla 22), y el poder calórico de los combustibles se generará el calor desprendido en el año de 1976 por los insumos de las canteras de los cerros nororientales de Bogotá

Tabla 22 Consumo diario de cantera en los cerros nororientales de Bogotá en 1976.

Canteras Mecanizadas (AM y M)	Canteras No mecanizadas (S-m y manuales)
10 Canteras	151 Canteras
30 Galones de ACPM	20 Galones de Gasolina
45 Galones de Gasolina	

Fuente: Elaboración propia con base en Gonzales (1971) y CENAC (1977)

Primero se calcula el calor desprendido por el uso del ACPM, dado que se utilizan 30 galones diarios por cada cantera mecanizada, y se hallan 10 en este sector de la sabana, el consumo diario de galones de ACPM son 300 galones, por lo tanto el calor desprendido en un día es el siguiente:

Ecuación 8
$$\text{Calor desprendido por día ACPM} \left(\frac{\text{BTU}}{\text{d}} \right) = 300 \text{ Gal} * 139.000 \text{ BTU/Gal}$$

Ecuación 9
$$\text{Calor desprendido por día ACPM (BTU/d)} = 41'700.000 \text{ BTUs}$$

Y con esta cifra se halla el calor desprendido en el año, dado que laboran 287 días al año:

Ecuación 10
$$\text{Calor desprendido por año ACPM (BTU/año)} = 11.958'964.286 \text{ BTUs}$$

Ecuación 11 *Calor desprendido por año ACPM (GBTU/año) = 11,96 GBTUs*

En términos de Joule la energía transformada por el uso de ACPM en 1976 es:

Ecuación 12 $11,9589 \text{ GBTU} * 1.055,056 \frac{\text{GJ}}{\text{GBTU}} = 12.617,38 \text{ GJ}$

Mientras, para calcular el calor desprendido por el uso de gasolina en las canteras, se multiplicará el consumo diario por el número de canteras asentadas en la zona de análisis, para a continuación hacerlo por el poder calorífico de la gasolina.

Ecuación 13 *Consumo diario de gasolina (Gal): (10 Canteras * 45 Galones) + (151 Canteras * 20 Galones)*

Dando como resultado un consumo de 3.470 Galones de gasolina diarios, y con el poder calorífico de la gasolina de 132.400 BTU, se halla el calor desprendido en el día por la el uso de gasolina en las explotaciones no mecanizadas .

Ecuación 14 *Calor desprendido por día Gasolina $\left(\frac{\text{BTU}}{\text{d}}\right) = \left(300 \text{ Galones} * 132.400 \frac{\text{BTU}}{\text{galón}}\right)$*

Ecuación 15 *Calor desprendido por día Gasolina $\left(\frac{\text{BTU}}{\text{d}}\right) = 459'428.000 \text{ BTUs}$*

Y con esta cifra se halla el calor desprendido en el año, dado que laboran 287 días al año:

Ecuación 16 *Calor desprendido por año Gasolina (BTU/año) = 1,31757E + 11 BTUs*

O

Ecuación 17 *Calor desprendido por año Gasolina (GBTU/año) = 131,76 GBTUs*

En términos de Joule la energía transformada por el uso de Gasolina en 1976 es:

Ecuación 18 $131,76 \text{ GBTU} * 1.055,056 \frac{\text{GJ}}{\text{GBTU}} = 139.077,83 \text{ GJ}$

Así el calor desprendido por el conjunto de elementos en las canteras del nororiente de Bogotá, compuesto por la mano de obra, el ACPM y la gasolina es el siguiente:

Ecuación 19 *Calor desprendido por las canteras en 1976 $\left(\frac{\text{GBTU}}{\text{Año}}\right) = 1,25 \text{ GBTU} + 11,96 \text{ GBTU} + 131,76 \text{ GBTU}$*

Es decir

Ecuación 20 *Calor desprendido por las canteras en 1976* $\left(\frac{GBTU}{Año}\right) = 144,97 \text{ GBTU}$

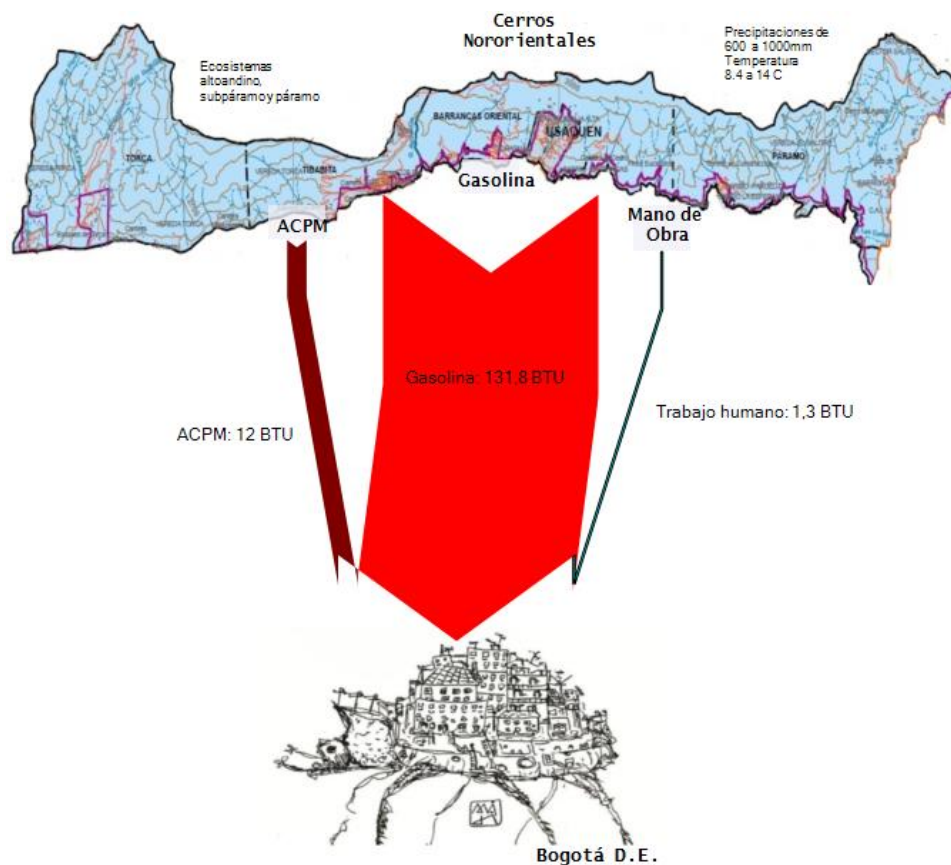
A nivel de transformación de energía, las actividades extractivas utilizaron en el año de 1976:

Ecuación 21 *Energía transformada en 1976* $\left(\frac{GJ}{Año}\right) = 1.321,12 \text{ GJ} + 12.617,38 \text{ GJ} + 139.077,83 \text{ GJ}$

Ecuación 22 *Energía transformada en 1976* $\left(\frac{GJ}{Año}\right) = 153.016,33 \text{ GJ}$

En consecuencia, el calor desprendido por las explotaciones en el nororiente de Bogotá para el año de 1976 es de 144,97 GBTU o 153.016,33 GJ En el siguiente diagrama Sankey se muestra el flujo energético de las canteras en términos de BTU.

Figura 21.Diagrama Sankey de calor desprendido de las canteras en 1976



Fuente: Elaboración propia

▪ Perfil Metabólico

El perfil metabólico de las explotaciones ubicadas en la zona norte de los cerros orientales de la sabana de Bogotá para el año de 1976, corresponde a 1'485.000 metros cúbicos de agregados pétreos y otros materiales, y de 144,97 GBTU de calor desprendido o de 153.016,33 GJ de energía transformada. Este perfil es el rastro del Metabolismo Socio-ecológico a nivel "material", es decir, la materialidad de las relaciones entre los grupos sociales que hacen parte de las actividades extractivas y el entorno natural. Cabe destacar que este perfil, no incluye el metabolismo de las actividades anteriores a las explotaciones, tales como la extracción de los combustibles fósiles, la producción de los equipos y herramientas. Igualmente, ante la falta de información del consumo de agua de las canteras, no fue posible integrar los flujos del metabolismo hídrico a este perfil.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Los enfoques de investigación interdisciplinarios son fundamentales hoy, para entender las complejas relaciones en el campo ambiental. Es así, como el Metabolismo Socio Ecológico sigue construyéndose como una perspectiva teórica acertada y en colaboración con herramientas metodológicas tales como el análisis de los flujos de energía y materiales, contribuyen a entender la materialidad de las interrelaciones entre la sociedad y la naturaleza. Sin embargo, debe generar puentes con áreas como la historia ambiental, la economía ecológica, la ecología política y el urbanismo ecológico, con el objetivo de integrar y robustecer los análisis.

De este modo, desde diversas perspectivas se han generado más de 80 estudios de metabolismo urbano³⁶ en el mundo, a escala local, municipal y regional, iniciando con el trabajo de Wolman en los años 60. Permitiendo analizar estos sistemas socio-ecológicos – sistemas híbridos, a partir del uso de materiales y la transformación de la energía, su estado y sus problemáticas. Se observa el liderazgo de áreas como Europa, Estados Unidos y China en cuando a número y diversidad de investigaciones, así mismo, las crecientes indagaciones en América Latina. Y es, con respecto a los actuales retos del desarrollo en esta región, sus grandes sistemas urbanos, el interés mundial por sus recursos materiales y su crecimiento económico, que hace de esta perspectiva fundamental para entender de mejor manera la sustentabilidad en este ámbito.

Sin embargo, los estudios realizados consideran el estado contemporáneo del metabolismo, por lo tanto, es necesario analizar históricamente estos procesos, con lo cual, la historia ambiental juega un papel preponderante, al incluir en sus análisis la

³⁶ Como metabolismo urbano, se consideran los estudios realizados en los sistemas socio-ecológicos de villas, islas, ciudades y regiones.

materialidad de las interrelaciones. Integrando, de esta forma las ciencias sociales a la perspectiva del MSE, y como Toledo y Gonzalez de Molina (2007) señalan, aporta el “software” o el lado “blando” del Metabolismo Socioecológico. En los Cerros Orientales de Bogotá se describen tres visiones de la población asentada en la ciudad sobre este territorio, como un elemento simbólico, un proveedor de materiales y energía, y un espacio para el asentamiento humano. De tal forma, que con el paso del tiempo, estas visiones se relacionan y generan acciones sobre el territorio. Creando las condiciones para el estado actual de este sistema.

La insustentabilidad está directamente relacionada con la organización espacio-temporal de los flujos metabólicos y de los circuitos del metabolismo como un proceso socio-ecológico a nivel histórico. Por tanto, la sustentabilidad del territorio de los cerros nororientales de Bogotá está vinculada con las presiones de los flujos de materiales y de energía que en ella tienen lugar. En este sentido la extracción de agregados pétreos y el uso de energía fósil, es decir el metabolismo socio-ecológico de las actividades extractivas, para este caso el perfil metabólico del año 1976, conlleva a la transformación directa de los ecosistemas presentes en los cerros y de su estructura ecológica principal, así como la generación de efectos metabólicos que hacen que esa actividad se considere insostenible para el año de 1976.

Finalmente se plantean una serie de elementos interrelacionados que generan, incrementan o reducen el metabolismo, es decir un modelo que integre tanto los flujos de materiales y energía, como las relaciones sociales. En este caso, el modelo de elementos dinamizadores, se basa en un esquema conocido como “Fuerza Conductora – Presión – Estado – Impacto – Respuesta (FPEIR - DPSIR)” (Eurostat, 1999; UNEP, 2007). Este enfoque tiene sus raíces en el esquema Stress-Respuesta (Friends & Raport, 1979) y más adelante en el de Presión-Estado-Respuesta (OCDE, 1991, 1993). En este caso, el modelo FPEIR se utiliza en el escenario de análisis de este estudio para el siglo XX.

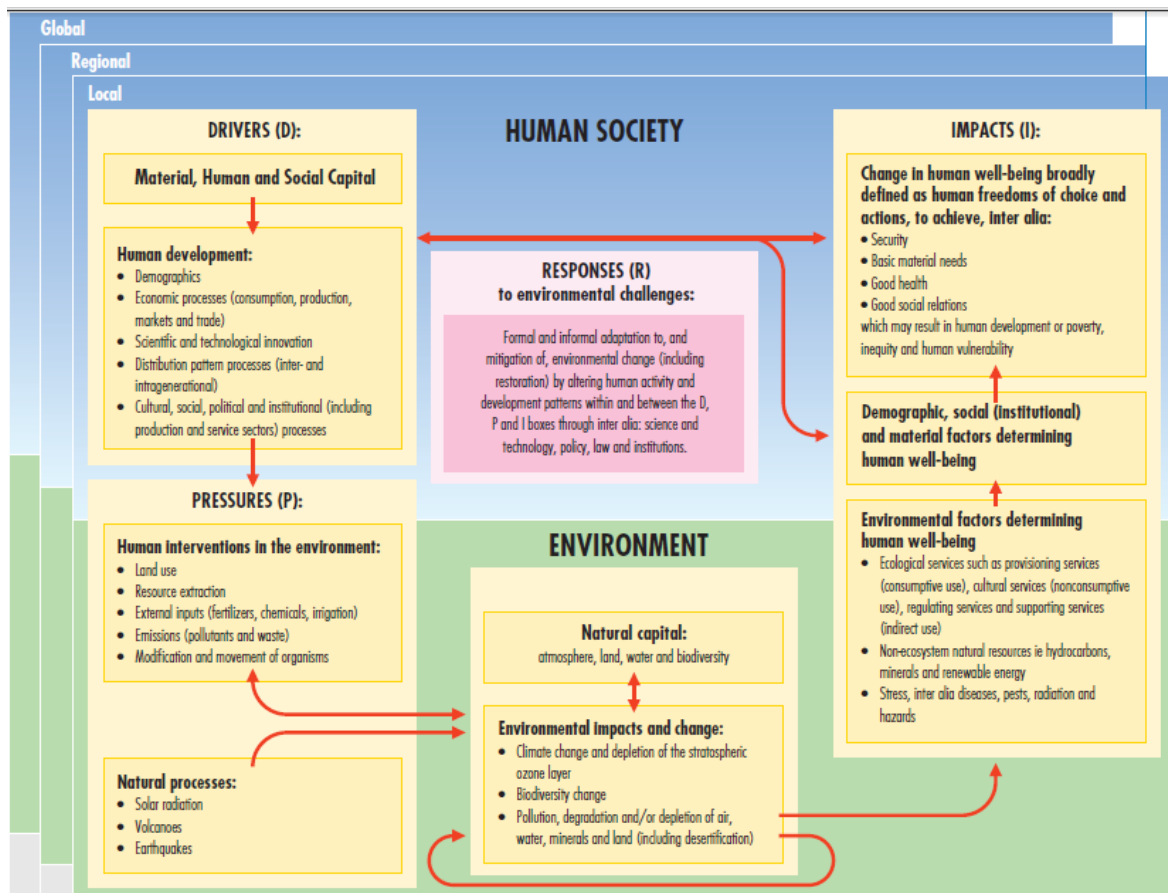
Modelo de relaciones de elementos dinamizadores del MSE

Este modelo pretende generar un marco de análisis donde se integren diversos elementos que generen, impulsen o mermen el metabolismo socioecológico. Estos actores y acciones dentro de los grupos sociales pueden, o no, tener intención de intervenir en el metabolismo de un sistema complejo (Sistema socio-ecológico), o en este

caso la ciudad como sistema híbrido, descrito anteriormente. El modelo FPEIR, se utiliza basado en una búsqueda de enfoques que permitiesen interrelacionar a los grupos sociales y la naturaleza. Se adoptó este modelo, siguiendo a Polanco (2006), por cuanto, incorpora mayores variables que los modelos de Stress-Respuesta y Presión-Estado-Respuesta, e igualmente está enfocado a la toma de decisiones ambientales.

El análisis de estas relaciones complejas, se desarrollan desde finales del siglo XIX (1894), hasta el siglo XXI (2006), ya que, es precisamente en este periodo, donde se evidencia la transformación, el incremento y consecuente disminución de las actividades extractivas. Los elementos del modelo FPEIR son: Fuerzas conductoras, Presiones, Estado, Impactos y Respuestas (Ver Figura 22).

Figura 22. Diagrama conceptual modelo DPSIR- FPEIR utilizado por la UNEP



Fuente: Tomado de UNEP (2007)

Como conclusión de este estudio, se genera el vínculo entre el metabolismo material (Cuantitativo - Duro) y el metabolismo inmaterial (Cualitativo – Blando) basado en el

modelo presentado anteriormente, haciendo hincapié en su complejidad, adaptabilidad y su condición de representar las relaciones de la naturaleza y la sociedad en movimiento. Para hacer de este análisis, una enfoque integral de investigación de las relaciones ambientales.

Efectos

En esta sección se describen los efectos generados tanto a nivel ecológico, social y de transformación del territorio, lo que se denominaran como “efectos del MSE” de las actividades extractivas que se asientan en los cerros nororientales.

- **Ecológicos**

Los efectos ecológicos generados por las explotaciones de agregados pétreos, están directamente relacionados con la degradación de los servicios ecosistémicos en esta área. Se ven afectados los **servicios de aprovisionamiento**, en especial, la cantidad y calidad del Agua y de Alimentos, los **servicios de regulación**, ya que hace más difícil la regulación del clima local, del control de la polución, de la erosión y de inundaciones. Los **servicios de soporte** se ven afectados en la medida que se ha transformado el ciclo hídrico, la formación del suelo y por ende la producción primaria Y finalmente a nivel de **servicios culturales**, el principal efecto ha sido la degradación paisajística que ha llevado las acciones de las explotaciones.

Se pueden considerar cinco grandes efectos ecosistémicos del metabolismo socio-ecológicos de las canteras, en especial sobre los bosques, el agua, la erosión, la atmosfera y el paisaje (Correa, 2000; Rivera, 2001). Es, en estos aspectos donde la relación entre el metabolismo de las explotaciones y su entorno natural se ve más evidentemente a nivel material. Ya, desde la década de 1940, Royo y Gómez (1941), denota efectos de erosión, el cambio de paisaje y afectación de bosques. De la misma manera, Lopez et al. (1975) y Delgado (1982) reportan efectos ecológicos por acción de las canteras.

A nivel de efectos sociales, se hallan principalmente en las relaciones laborales, en especial, el trabajo infantil en las canteras, como se observa en la Ilustración 10. En el metabolismo socioecológico de estas empresas participaron niños y niñas, que por el contexto socioeconómico y cultural de la población asentada en esta área, se ve forzada a participar en familia en los trabajos de la minería (Salazar, 1985).

Otro de los efectos metabólicos son, la generación de riesgos tales como deslizamientos, que vulneran la cotidianidad de los habitantes de barrios asentados en las antiguas explotaciones, las cuales no realizaron los procedimientos necesarios y obligados por la ley para estabilizar los terrenos (Correa, 2000).

Respuestas

Las respuestas, son las adaptaciones formales e informales, que se generan en consideración a las presiones, el estado del entorno y los efectos generados, entre ellos se encuentran las políticas públicas, el conocimiento en ciencia y tecnología, y las instituciones.

En cuanto al MSE de los cerros nororientales, las respuestas que se han generado son el *Acuerdo 29 de 1894*, el cual prohibió las canteras en el área urbana de la ciudad de Bogotá al final del siglo XIX, sin embargo, impulso la creación de explotaciones en la zona norte de los cerros orientales, el *Acuerdo 30 de 1976 y la Resolución Ejecutiva No. 76 de 1977*, las cuales declaran los cerros orientales como Reserva Forestal Protectora del Bosque Oriental de Bogotá, y con estas determinaciones frenan, más no detienen por completo el creciente metabolismo socioecológico de los cerros nororientales.

A nivel de respuestas en el campo de la ciencia y tecnología, comprenden los conocimientos técnicos, las herramientas e invenciones tecnológicas que utilizan para desarrollar diversos procesos o tareas. Estas respuestas han sido, el desarrollo de la ciencia y el conocimiento de la geología, así como de ecología, ciencias ambientales, urbanismo e ingeniería. Así como la importación y el uso de diversas herramientas tanto manuales o, equipos y maquinaria de mayor envergadura. De la misma forma, el uso de diversos tipos de energía, humana, animal o de los combustibles fósiles de acuerdo a las necesidades encontradas.

Para el escenario de análisis, las respuestas han sido los avances en la geología, la ingeniería civil y arquitectura, que permiten la utilización del conocimiento para realizar extracciones, ubicando materiales específicos para el uso en obras privadas y públicas de la ciudad de Bogotá en constante expansión. Y por otra parte, la importación de maquinaria para canteras, como buldóceres y volquetas, que usan combustibles fósiles, convirtiéndose en un gran impulsor del MSE, así como dinamita y otros insumos para el proceso productivo. Sin embargo, otros desarrollos en el campo científico, son, el

concepto de Estructura Ecológica Principal (EEP) por parte de Thomas van der Hammen y de los Servicios Ecosistémicos (SE), permitiendo generar otra perspectiva de esta área, por parte de instituciones, la academia y la población en general. Constituyendo un aporte para la generación de acciones conducentes a proteger la dinámica ecológica de los cerros orientales.

Fuerzas conductoras

Las fuerzas conductoras, son agentes y procesos basados en el capital social, cultural y humano. Están directamente relacionados con las acciones y características de los grupos sociales, entre ellas se pueden encontrar: la demografía, la dinámica económica, la innovación científica y tecnológica, los procesos institucionales, políticos y socioculturales.

Para el caso de los cerros nororientales, las fuerzas conductoras encontradas, son la migración hacia la urbe, impulsada por causas (Ecológicas, Políticas, Económicas) y el crecimiento vegetativo de la población asentada, ya que incrementa la demanda sobre los materiales de construcción. De acuerdo a Salazar (1985), la población residente en los cerros nororientales en desarrollos progresivos para 1980, tres años después de creada la RFPBOB era de 28.592 habitantes, distribuidos entre 4.925 familias que residían en 3.455 viviendas. En barrios como el Codito y Soratama, cuyos inicios se remontan a la década del 40, con la creación de canteras en los cerros.

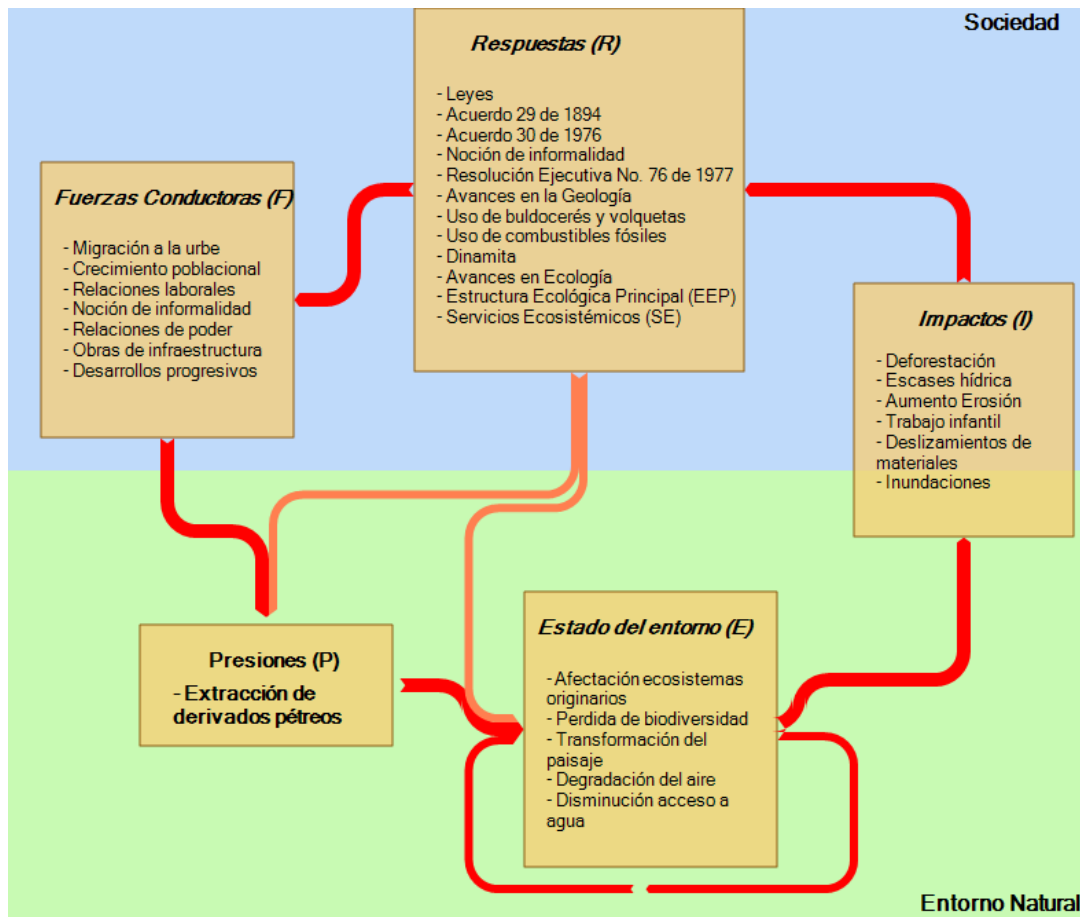
Del mismo modo, otro factor considerable son las relaciones laborales dentro de las canteras, ya que, las condiciones laborales en estas explotaciones fueron críticas e incluso con trabajo infantil en muchas de ellas (afectando las dinámicas sociales de la zona), además de no contar con seguridad social, ni elementos de protección de seguridad industrial. Otro factor determinante es, la noción del no acatamiento de las normas, ya que la mayoría de las canteras en la sabana de Bogotá funcionaron sin ninguna clase de asesoría, control y vigilancia, generando un incremento en los efectos metabólicos de las actividades las canteras.

Las relaciones de poder entre los habitantes y las instituciones gubernamentales, con respecto a la legalización de muchos desarrollos progresivos y la declaratoria de reserva forestal, es un proceso fundamental en cuanto a la defensa del territorio, muchas veces contrapuesta a la visión conservacionista de entes institucionales. A demás de, los

conflictos que se desarrollan entre partes de diversos grupos sociales, en particular la disposición de material de desecho y riesgo de deslizamiento en lugares habitados.

A nivel de acciones que estimulan o contienen el metabolismo en la zona, se hallan obras de infraestructura, edificaciones, carreteras, redes eléctricas, acueductos, urbanización, cultivos e industrias, y por supuesto en el nivel del entorno natural, se encuentran sismos, deslizamientos, inundaciones y factores climáticos extremos. En la zona mencionada, las principales acciones fueron, la construcción de la carretera central del Norte (Conecta a Bogotá con Tunja), la cual se genera siguiendo la falda de los cerros, y es un canal efectivo para los flujos de materiales desde las explotaciones al principal centro de consumo del país (Bogotá), y, la constitución de explotaciones y desarrollos urbanos progresivos en el sector, con lo cual se inicia un incremento en la extracción de material y con este la llegada de mano de obra, que aumenta la demanda de materiales para construir sus viviendas.

En cuanto a eventos que merman los flujos materiales, los deslizamientos de tierra son los principales fenómenos encontrados, al impedir nuevas explotaciones o detenerlas, así como generar riesgo para la población laboral e incluso para los habitantes de los desarrollos progresivos. A continuación, se presenta un diagrama donde se muestran los principales elementos del modelo FPEIR del MSE en esta zona:

Figura 23. Modelo FPEIR para el sistema de explotaciones de derivados pétreos en Bogotá

Fuente: Elaboración propia basado en UNEP (2007)

Como señala la Figura 23, los elementos del modelo se interrelacionan de manera cíclica, impulsando o mermando el Metabolismo Socioecológico de los cerros nororientales de la sabana de Bogotá. Por tanto, el vínculo entre la dimensión material, expresada por los flujos de materiales y energía, y la dimensión inmaterial, expresada por factores históricos, sociales, culturales y espirituales entre otros, permite al Metabolismo Socioecológico, convertirse en un enfoque necesario e importante para el análisis integral de las relaciones ambientales.

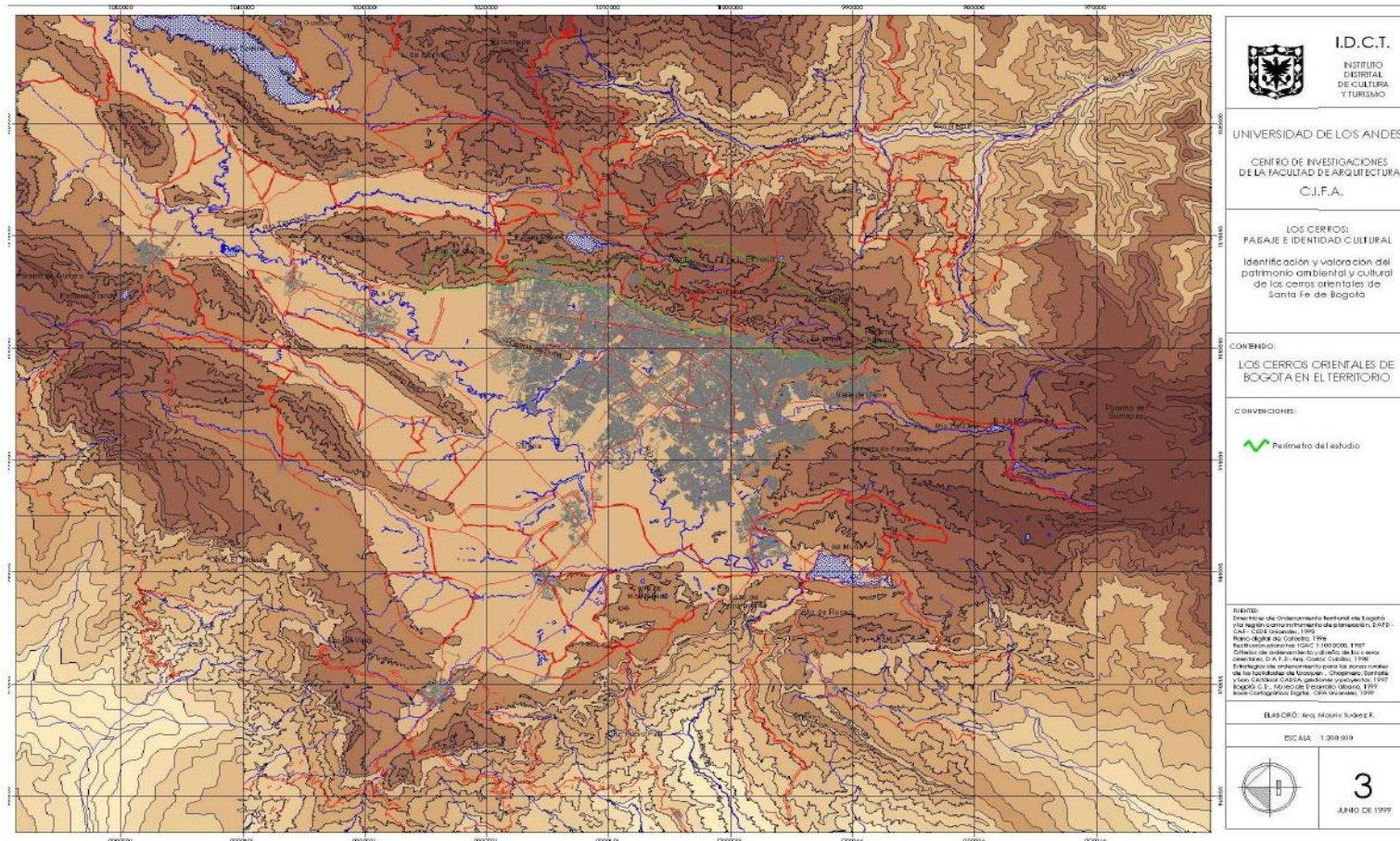
5.2 Recomendaciones

Con respecto a las recomendaciones que emergen del presente estudio, se destaca la necesidad de hallar fuentes de datos primarios a nivel histórico, para generar series de perfiles metabólicos de las actividades y con esto, medir su evolución en términos de la sustentabilidad de las dinámicas, ya sean agrarias, urbanas, regionales o globales. En este sentido, para el escenario Colombiano es preocupante el hecho de que las instituciones, que de acuerdo a su función se deben encargar de registrar y conservar la información, no lo realizan, en el caso específico de la minería, por solo poner un ejemplo.

Es necesario plantear más relaciones interdisciplinarias entre las ciencias, concebir nuevos enfoques y enlaces, que permitan analizar los retos actuales, tales como conflictos ecológicos, crecimiento de sistemas urbanos, cambio climático, a fin de entender estos procesos y generar políticas públicas que respondan a las realidades de los territorios.

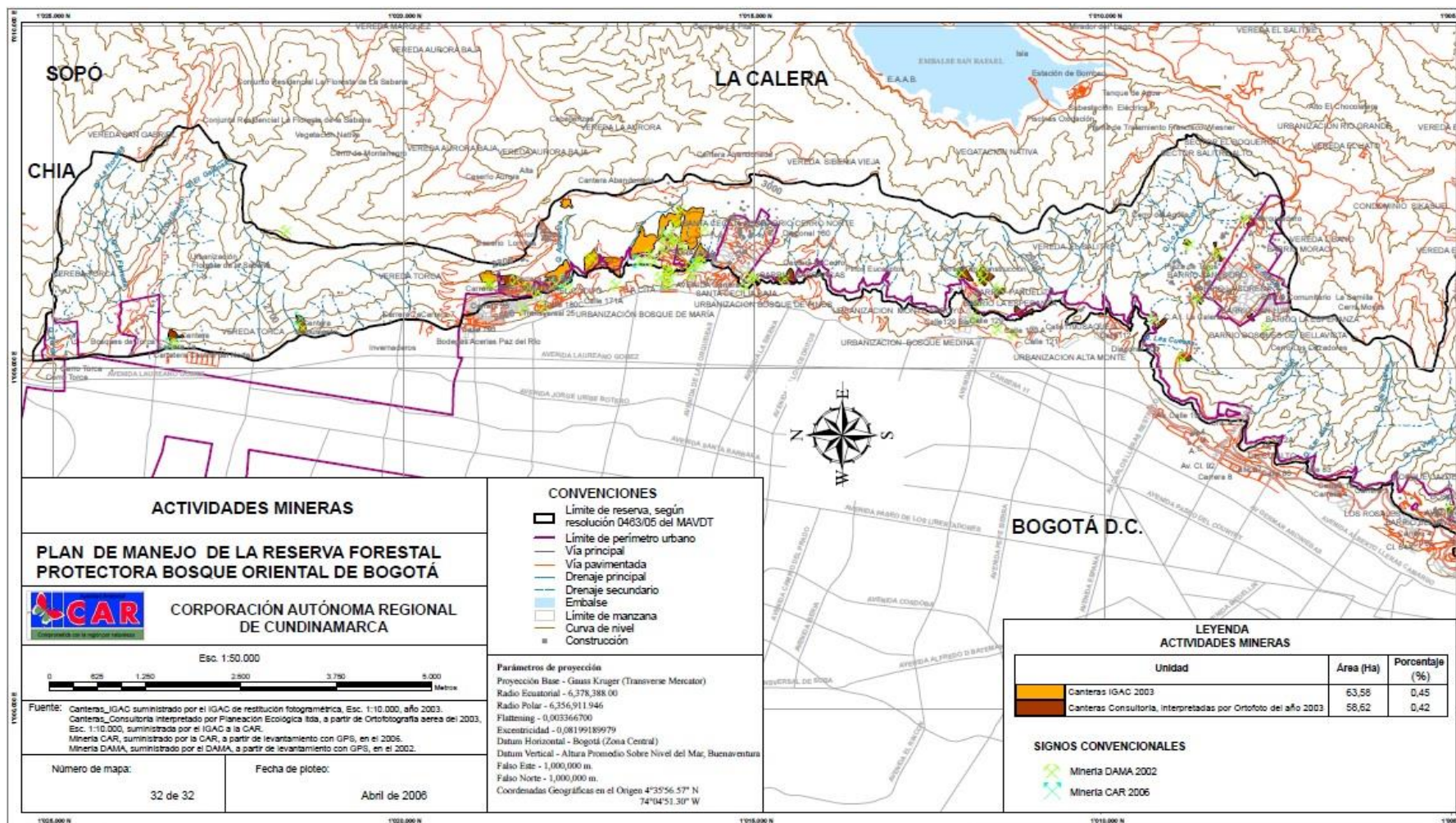
A. Anexos: Anexos Cartográficos

A) Los cerros orientales en el territorio



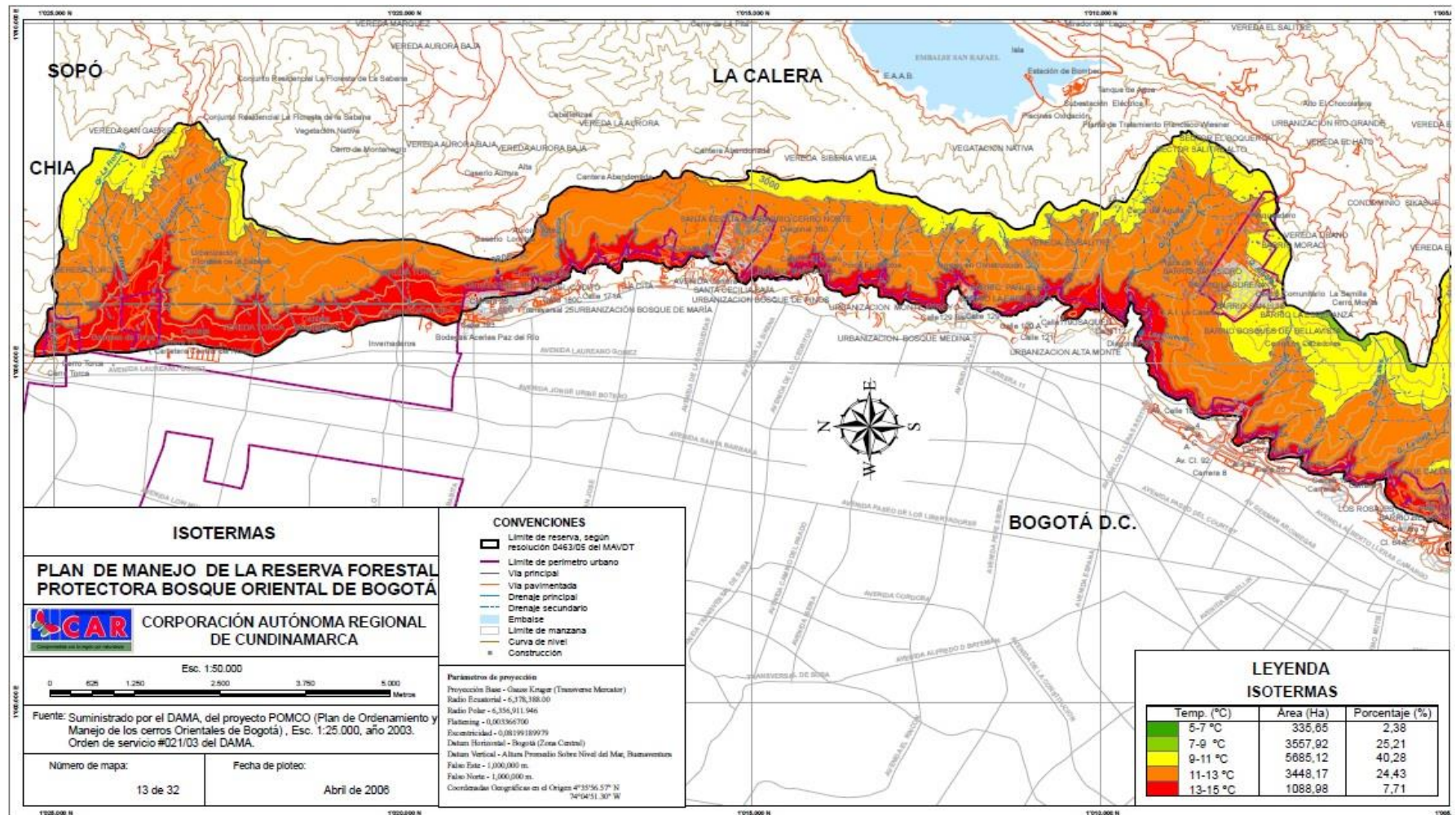
Fuente: Tomado de Suárez (1999a)

B) Actividades Mineras



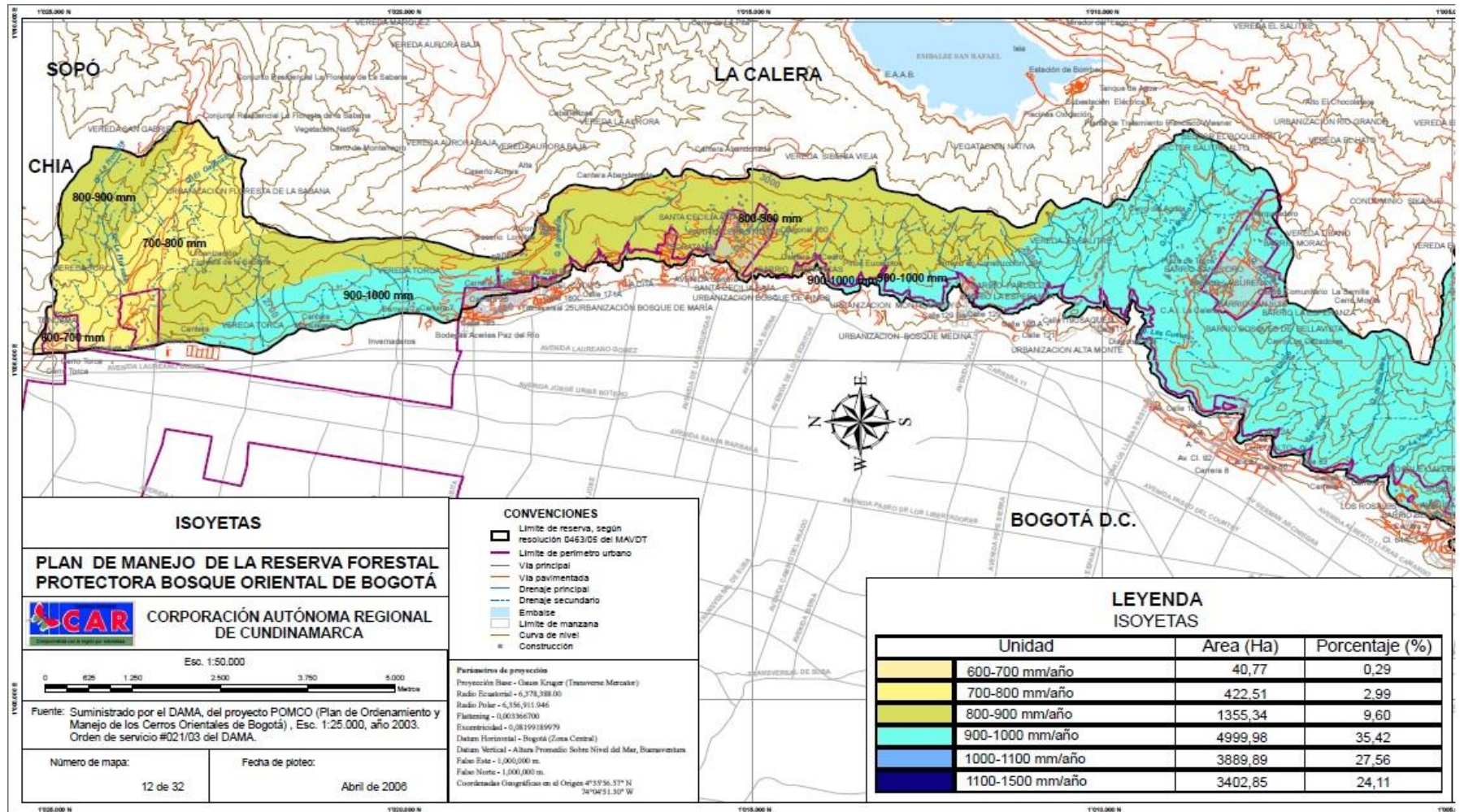
Fuente: Tomado de Corporación Autónoma Regional (2006a)

c) Isotermas



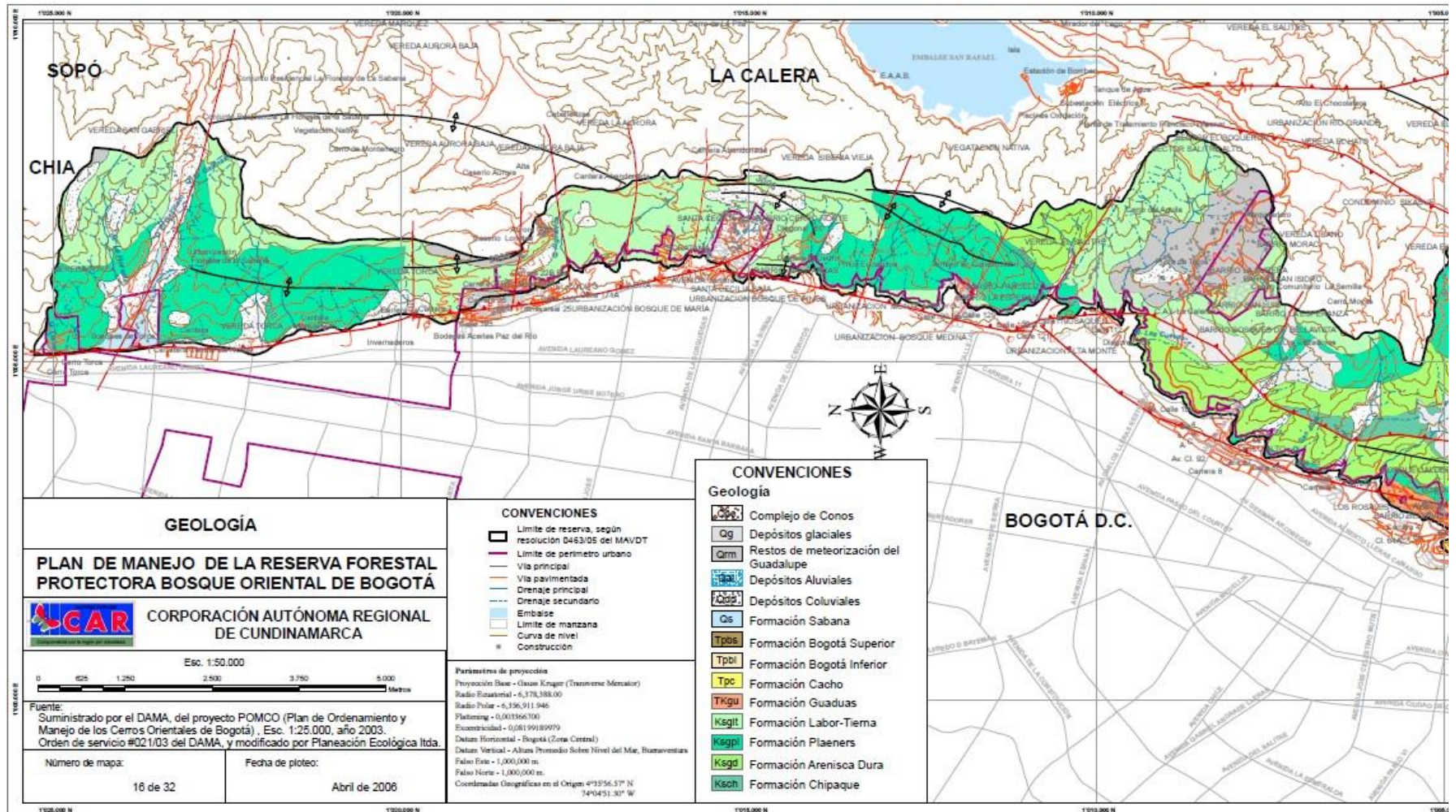
Fuente: Tomado de Corporación Autonoma Regional (2006c)

D) Isoyetas



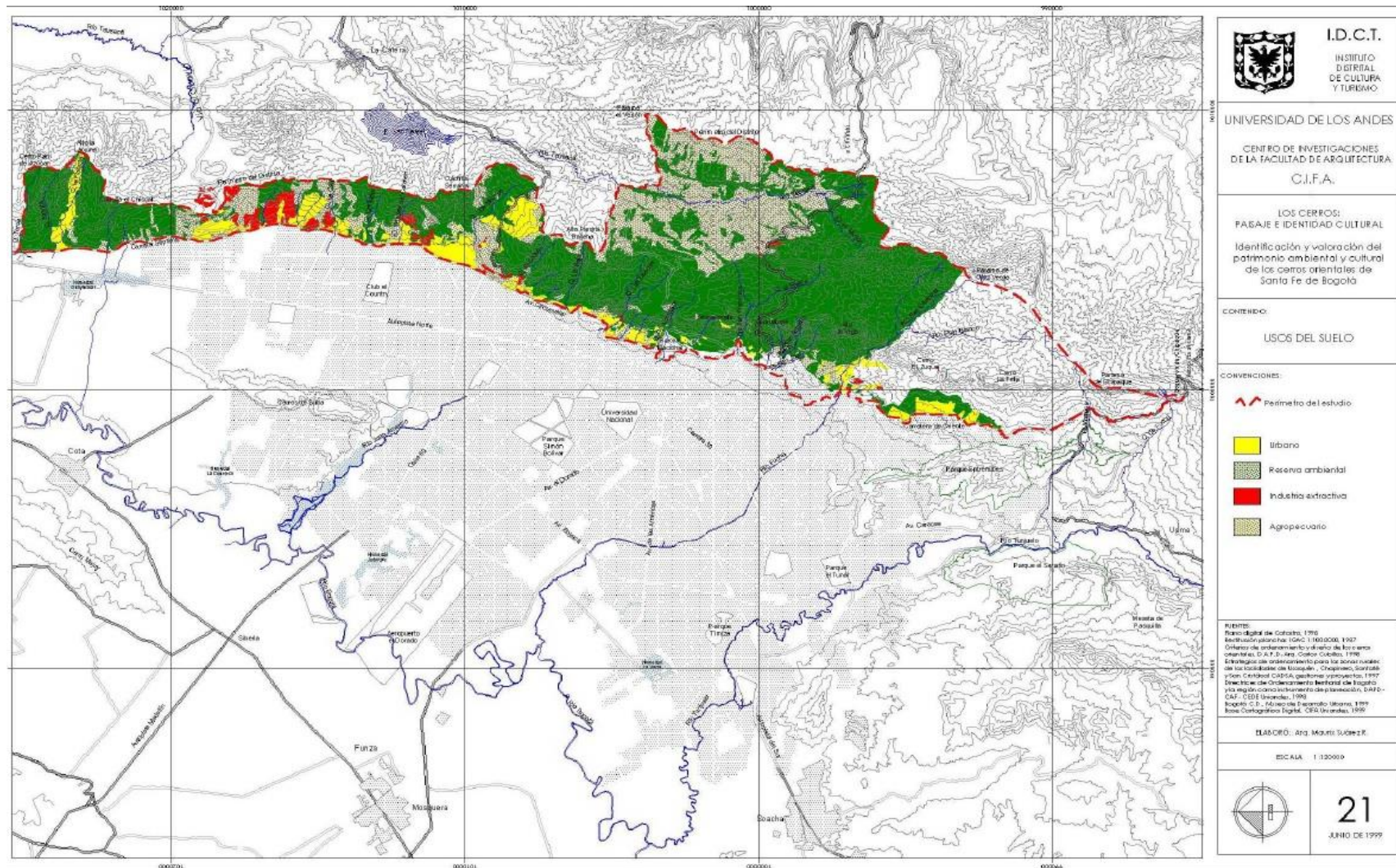
Fuente: Tomado de Corporación Autonoma Regional (2006d)

E) Geología



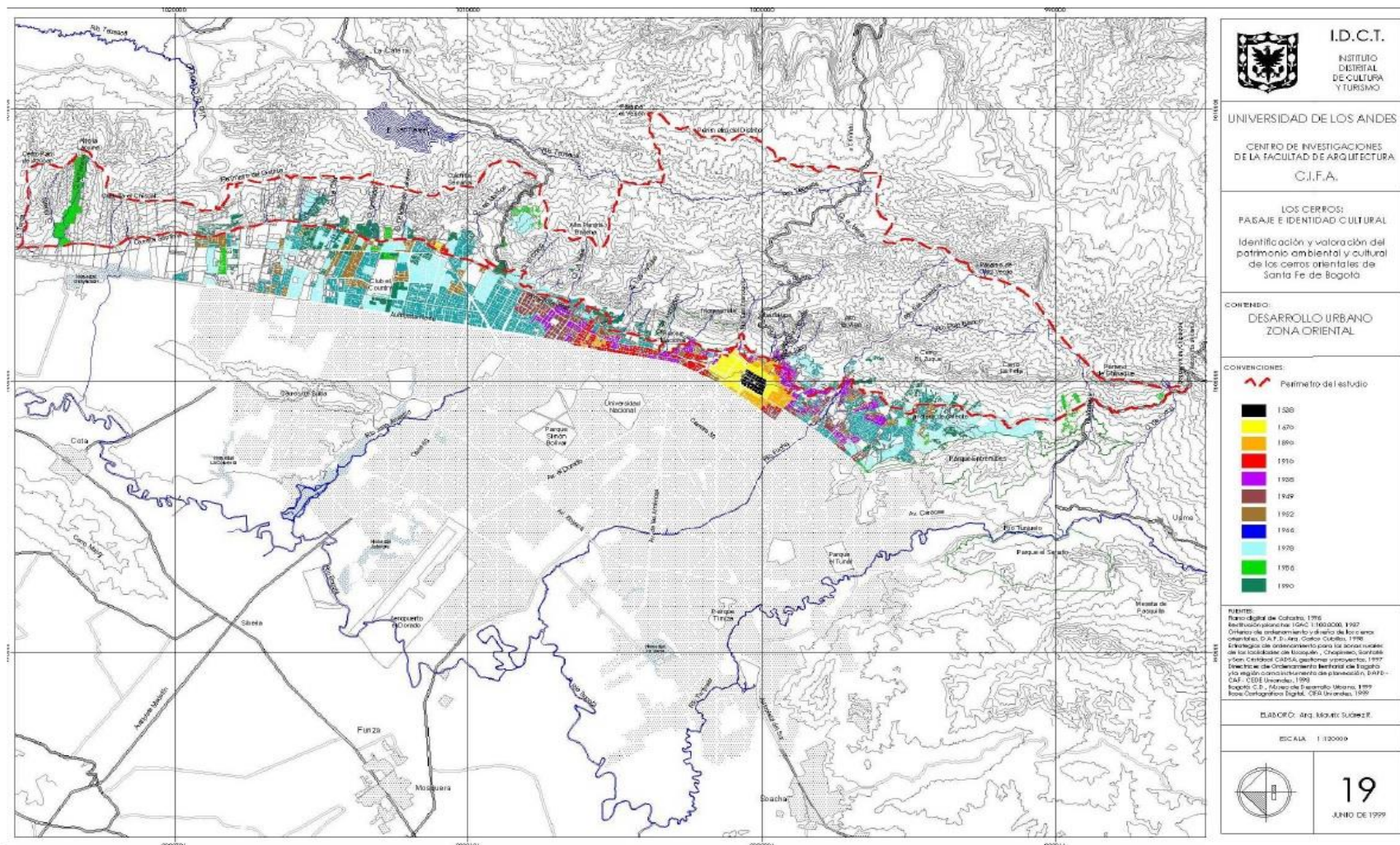
Fuente: Tomado de (Corporación Autonoma Regional, 2006b)

F) Uso del suelo en los cerros orientales para el año 1999



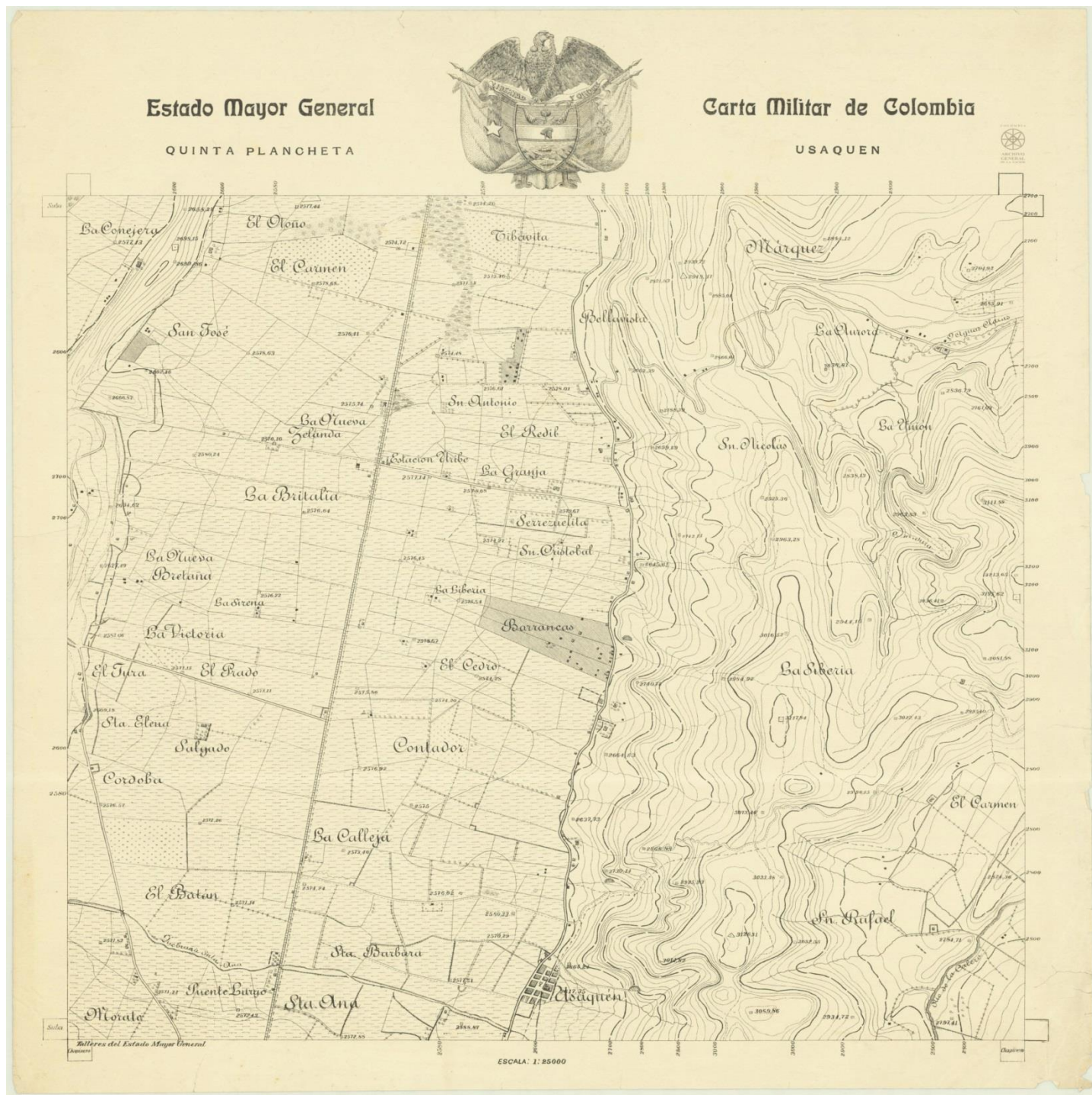
Fuente: Tomado de Suárez (1999b)

g) Desarrollo urbano zona oriental

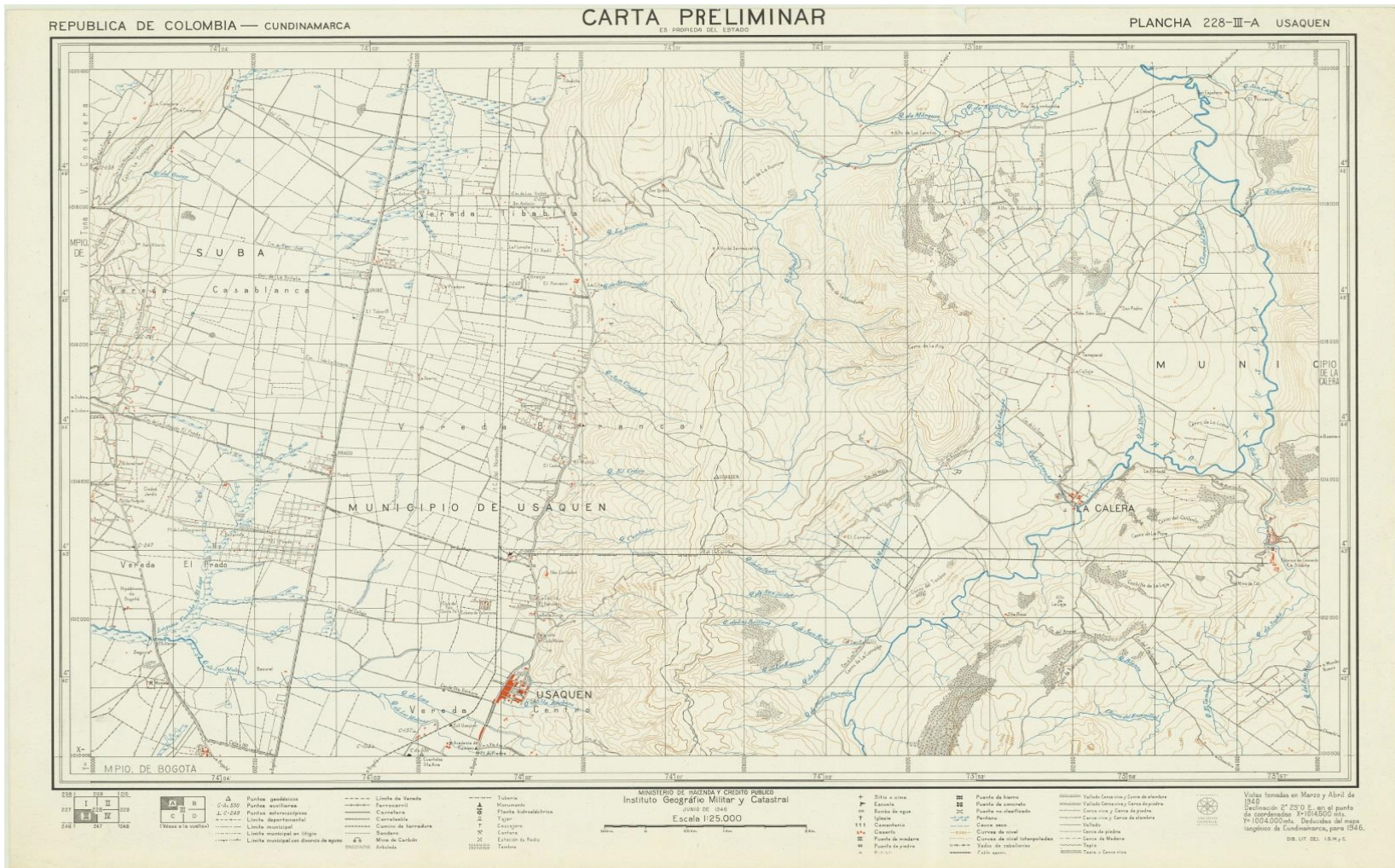


Fuente: Tomado de Suárez (1999a)

H) Explotaciones ubicadas en Usaquén (1930)



I) Explotaciones ubicadas en Usaquéen (1940)



Fuente: Tomado de Instituto Geográfico Militar y Catastral (1946)

Bibliografía

- AGN. (1948). *Libro de Acuerdos de la Real Audiencia del Nuevo Reino de Granada*. Bogotá: Archivo General de la Nación.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (1967). *Decreto 71 de 1967*. Bogotá: Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (1976). *Decreto 743 de 1976*. Bogotá: Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- Aldo, F., & Falcitelli, F. (2009). *The ANAFLUMPA Project: Economy-wide MFA at local level - The case of the Italian province of Palermo*. Paper presented at the ConAccount 2008 Urban metabolism: measuring the ecological city, , Prague, Czech Republic.
- Alimonda, H. (2011). *La Naturaleza colonizada. Ecología política y minería en América Latina*. Buenos Aires: CLACSO.
- Allan, J. A. (1997). *'Virtual Water': A Long Term Solution for Water Short Middle Eastern Economies*. SOAS, University of London.
- American Physical Society. (1996). *The Current Energy Situation & Background Papers Panel on Public Affairs POPA*. New York: American Physical Society.
- Amorocho, E. O., Germán. (2000). *Apuntes sobre Energía y Recursos Energéticos*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Autonoma de Bucaramanga.
- Ancizar, M. (1850). *Peregrinaciones de Alpha*. Santa fe de Bogota.
- Andrade, G., Mesa, C., Ramírez, A., & Remolina, F. (2008). *ESTRUCTURA ECOLÓGICA PRINCIPAL Y ÁREAS PROTEGIDAS DE BOGOTÁ*. Bogotá: Foro Nacional Ambiental.
- Angel Maya, A. (1995). *La Fragilidad Ambiental de la Cultura*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia
- Angel Maya, A. (1996). *El Reto de la Vida*. Bogotá: Ecofondo.
- Angel Maya, A. (2000). *La Aventura de los Símbolos*. Bogotá: Ecofondo
- Ardila, G. (2009) Bogotá-Sabana: Gobernabilidad posible? : Vol. 30 (pp. 12). Bogota D.C.: Foro Nacional Ambiental.
- Ardila, G. I. (2003). Síntesis de evaluación del estado del arte de los estudios que aportan al tema regional Bogotá - Sabana *Territorio y sociedad: el caso del Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Bogotá* (pp. 263 - 354). Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Ardila, G. I. (2010). Proyecto corredor borde norte de Bogotá Fase I. Bogotá: Corporación Ambiental Regional- CAR e Instituto de Estudios Urbanos - Universidad Nacional de Colombia.
- Ardila, G. I. (2011a) ¿Existe una política ambiental en Bogotá? Principales problemas ambientales. (pp. 12). Bogotá D.C.: Foro Nacional Ambiental.

- Ardila, G. I. (2011b). Proyecto corredor borde norte de Bogotá Fase II. Bogotá: Corporación Ambiental Regional- CAR e Instituto de Estudios Urbanos - Universidad Nacional de Colombia.
- Ardila, G. I., & Acevedo, J. (2003). *Territorio y sociedad: El caso del Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Bogotá*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Ardila, G. I., & CAR. (2010). Corredor Borde Norte de Bogotá - CAR. Informe final de investigación: Convenio No. 748 - 2009. Bogotá D.C. : Instituto de Estudios Urbanos. Universidad Nacional de Colombia.
- Ayres, R., & Ayres, L. (2002). *A Handbook of Industrial Ecology*. Cheltenham (UK), Northampton (USA): Edward Elgar Publishing.
- Ayres, R., & Simonis, U. (1994). *Industrial Metabolism, Restructuring for Sustainable Development*. Tokyo: United Nations University Press.
- Baccini, P. (1997.). A city's metabolism: towards the sustainable development of urban systems. *Journal of Urban Technology*, 4(2), 27.
- Baker, L. A. (2009). *The Water Environment of Cities*. US: Springer.
- Baker, L. A., Hope, D., Xu, Y., Edmonds, J., & Lauver, L. (2001). Nitrogen balance for the Central Arizona-Phoenix (CAP) ecosystem. *Ecosystems*, 4, 582-602.
- Barles, S. (2007). *A material flow analysis of Paris and its region. Renewables in a changing climate-innovation in the built environment*. Paper presented at the International Conference CISBAT, Lausanne.
- Barles, S. (2009). Urban Metabolism of Paris and Its Region. *Journal of Industrial Ecology*, 13(6), 898-913.
- Barles, S. (2010). Society, energy and materials: the contribution of urban metabolism studies to sustainable urban development issues. *Journal of Environmental Planning and Management* 53(4), 439-455.
- Barles, S., & Lestel, L. (2007). The Nitrogen Question : Urbanization, Industrialization, and River Quality in Paris 1830 --1939. *Journal of Urban History*, 33, 794-812.
- Barrett, J., Vallack, H., Jones, A., & Haq, G. (2002). *A Material Flow Analysis and Ecological Footprint of York*. Stockholm: Stockholm Environment Institute.
- Bateson, G. (1997). *Una unidad sagrada – pasos ulteriores hacia una ecología de la Mente*. Madrid: Gedisa Editorial.
- Bayona, J. (1941). *Escrito 1797*. Bogotá: Sociedad de Mejoras y Ornatos de Bogotá.
- Bohle, H.-G. (1994). Metropolitan food systems in developing countries: the perspective of urban metabolism. *GeoJournal*, 34(3), 245-251.
- Boskoff, A. (1982). Urban Development: From Urban Types to Urban Phases *Understanding American Jewry* (pp. 163).
- Boulding, K. (1966). The economics of the coming Spaceship Earth. In H. Jarrett (Ed.), *Environmental quality in a growing economy* (pp. 3-14). Baltimore: Resources for the Future/Johns Hopkins University Press.
- Boyden, S., Millar, S., Newcombe, K., & O'Neill, B. (1981). *The Ecology of a City and its People: The Case of Hong Kong*. Canberra: Australian National University Press.
- Boyden, S. V. (1992). *Biohistory: The interplay between human society and the biosphere - Past and Present*. (Vol. 8). Paris: UNESCO - Parthenon Publishing Group.
- Browne, D., O'Regan, B., & Moles, R. (2012). Comparison of energy flow accounting, energy flow metabolism ratio analysis and ecological footprinting as tools for measuring urban sustainability: A case-study of an Irish city-region. *Ecological Economics*, 83, 97–107.

- Browne, D., O'Regan, B., & Moles, R. (2009). Assessment of total urban metabolism and metabolic inefficiency in an Irish city-region. *Waste Management*, 29, 2765-2771.
- Brunner, P., Daxbeck, H., & Baccini, P. (1994). Industrial metabolism at the regional and local level: A case-study on a Swiss region *Industrial metabolism: Restructuring for sustainable development*. Tokyo: United Nations University Press.
- Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2001). Anthropogenic metabolism and environmental legacies. In T. Munn (Ed.), *Encyclopedia of Global Environmental Change* (Vol. 3). UK: Wiley.
- Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2004). *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. London: CRC Press.
- Bujarin, N. (1922). *Theorie des Historischen Materialismus*. Hamburgo: Kommunistischen Internationale.
- Burström, F., Frostell, B., & Mohlander, U. (2003). *Material flow accounting and information for environmental policies in the city of Stockholm*. Paper presented at the rkshop Quo vadis MFA? Material Flow Analysis-Where DoWe Go? Issues Paper presented at the, Trends and Perspectives of Research for Sustainable Resource Use, Wuppertal, Germany.
- Butler, D., & Spencer, N. (2010). The century of the city. *Nature*, 467, 900-901.
- Caliban. (1941). Cerros que le guardan la espalda a la ciudad, *Diario el Tiempo*.
- Camargo, G. (2008). *Historia pintoresca y las perspectivas de ordenamiento de los Cerros Orientales de Santa Fe de Bogotá*. Fundación Cerros de Bogotá. Bogotá. Retrieved from http://cerrosdebogota.org/joomla/index.php?option=com_content&view=article&id=4&Itemid=17&lang=es
- CAR. (1986). Atlas Regional CAR 25 años. Bogotá D.C. : Corporación Autonoma Regional.
- CAR. (2006). Plan de manejo de la reserva forestal protectora bosque oriental de Bogotá. Bogotá: CAR.
- CAR. (2010). Ajuste del plan de manejo ambiental de la reserva forestal protectora bosque oriental de Bogotá. Bogotá D.C.: Corporación Autonoma Regional.
- Carrizosa, J. (2005). *Desequilibrios territoriales y sostenibilidad local: Conceptos, metodologías y realidades*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia - Instituto de Estudios Ambientales.
- Carrizosa, J. (2008). La sabana de Bogotá y los ecosistemas relacionados en el 2007. Bogotá: Foro Nacional Ambiental.
- CENAC. (1977). Diagnostico del estado económico y tecnológico del Sub-sector Agregados Petreos. Bogotá: Centro Estadístico Nacional de la Construcción.
- CIWM. (2002). City limits: A resource flow and ecological footprint analysis of Greater London. London: Best Foot Forward-Chartered Institution of Wastes Management.
- Codoban, N., & Kennedy, C. (2008). The metabolism of neighbourhoods. *ASCE Journal of Urban Planning and Development*, 134(1), 21-31.
- Concejo Municipal de Bogotá. (1894). *Acuerdo 29 de 1894*. Bogotá: Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C.
- Consejo Administrativo de Cundinamarca (1954). *Ordenanza 7 de 1954*. Bogotá: Diario oficial.
- Conservación Internacional. (2007). Inventario de Fauna *Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá*. Bogotá: Corporación Autonoma Regional.
- Constanza, R., Cumberland, J., Daly, H., Goodland, R., & Norgaard, R. (1997). *An Introduction to Ecological Economics*. New York: St Luis Press y ISEE.

- Contraloría General de la Nación. (1941). *Censo general de Población de 1938 - Departamento de Cundinamarca*. Santa Fe de Bogotá: Contraloría General de la Nación.
- Cook, S. (1973). Production, ecology y economic anthropology: notes towards and integrated frame of reference. . *Social Science Information*, 12(1), 25-52.
- Corporación Autónoma Regional (Cartographer). (2006a). Actividades Mineras.
- Corporación Autónoma Regional (Cartographer). (2006b). Geología.
- Corporación Autónoma Regional (Cartographer). (2006c). Isotermas.
- Corporación Autónoma Regional (Cartographer). (2006d). Isoyetas.
- Correa, A. (2000). Situación Actual de la Explotación de Canteras en El Distrito Capital. *Ingeniería e Investigación* 46, 45-55.
- Cortés, S., Rangel, O., & Serrano, H. (2004). Transformation of the vegetal cover in the high mountain of the Cordillera Oriental, Colombia. *Lyonia* 6(2), 153 - 160.
- Cote, M. (1883). *Régimen alimenticio de los jornaleros de la sabana de Bogotá*. Paper presented at the Primer Congreso Médico Nacional de Colombia, Bogotá.
- Cottrell, F. (1955). *Energy and society*. New York: McGraw-Hill.
- Cusso, X., Garrabou, R., & Tello, E. (2006). Social metabolism in an agrarian region of Catalonia (Spain) in 1860-1870: Flows, energy balance and land use. *Ecological Economics*, 58,(1), 49-65.
- Chaparro, J., Mendoza, D., Pulido, B., & Carreño, C. (1997). Un siglo habitando los cerros : vidas y milagros de vecinos en el cerro del cable. *Memoria barrial, convivencia social e integración juvenil en la parte alta de Chapinero, Bogotá, 1996-1997*. Bogotá: Auros Copias Ltda.
- Charruadas, P. (2012). The cradle of the city: the environmental imprint of Brussels and its hinterland in the High Middle Ages. *Regional Environmental Change*, 12, 255–262.
- Chrysoulakis, N. (2008, September 10-12). *Urban metabolism and resource optimisation in the urban fabric: the BRIDGE methodology*. Paper presented at the EnviroInfo2008, Environmental Informatics and Industrial Ecology, Lüneburg, Germany.
- Daly, H. (1977). *Steady state economics*. San Francisco: W. H. Freeman.
- DANE - SDP. (2005). *Proyecciones de población según localidad, 2006 – 2015*. Bogotá: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- DANE. (1954). *Censo general de Población de 1951- Departamento de Cundinamarca*. Bogotá: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- DANE. (1969). *XIII Censo nacional de población y II de edificios y viviendas de 1964*. Bogotá D. E: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- DANE. (1980). *XIV Censo nacional de población y III de edificios y viviendas de 1973*. Bogotá D.E: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- DANE. (1986). *XV Censo nacional de población y IV de vivienda de 1985*. Bogotá D.E: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- DANE. (1996a). *Censo general de 1993*. Santa Fe de Bogotá: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- DANE. (1996b). *Proyecciones municipales de población por área 1995-2005* Santa Fe de Bogotá: DANE.
- DANE. (2005). *Censo general 2005*. Bogotá: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

- Daxbeck, H., Lampert, C., Morf, L., Obernosterer, R., Rechberger, H., Reiner, I., & Brunner, P. (1996). Der anthropogene Stoffhaushalt der Stadt Wien (Projekt Pilot). Wien: Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Technische Universität.
- Deilmann, C. (2009). Urban metabolism and the surface of the city. *German Annual of Spatial Research and Policy, Guiding Principles for Spatial Development in Germany*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Delgado-Ramos, G. C. (2010). *Ecología política de la minería en América Latina*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Delgado, O. (1982). *La explotación de canteras en el Nororiente de Bogotá*. Licenciado en Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Di Pace, M., & Caride Bartrons, H. (2004). *Ecología de la Ciudad*. Buenos Aires: Prometeo-UNGS.
- Diaz, C. (2011). *Metabolismo de la ciudad de bogotá D.C.: Una herramienta para el análisis de la sostenibilidad ambiental urbana*. Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Duvigneaud, P., & Denayeyer-De Smet, S. (1977). L'Ecosystème Urbs, in L'Ecosystème Urbain Bruxellois, in Productivité en Belgique. In P. Duvigneaud & P. Kestemont (Eds.), *Travaux de la Section Belge du Programme Biologique International* (pp. 581-597). Bruxelles.
- Emmenegger, M. F., Frischknecht, R., Cornaglia, L., & Rubli, S. (2003). Métabolisme des activités économiques du Canton de Genève – Phase 1 Geneva: Groupe de travail interdépartemental Ecosite, République et canton de Genève.
- Estado Mayor General (Cartographer). (1930). Carta Militar de Colombia - Usaquén.
- Eurostat. (1999). Towards Environmental pressure Indicators for the EU. Luxembourg: European Environmental Agency.
- Færge, J., Magid, J., & Penning de Vries, F. W. T. (2001). Urban nutrient balance for Bangkok. *Ecological Modelling*, 139, 63-74.
- Felacio, L. (2009). *El Acueducto de Bogotá: Procesos de diferenciación social a partir del acceso al servicio público de agua, 1911-1929*. Historiadora, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Fikar, P., & Havránek, M. (2009). *Energy metabolism of the Prague city*. Paper presented at the ConAccount 2008 Urban metabolism: measuring the ecological city, Prague, Czech Republic.
- Fischer-Kowalski, M. (1998). Society's Metabolism, The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part I, I 860- I 970. *Journal of Industrial Ecology*, 2(1), 61-78.
- Fischer-Kowalski, M. (2003). On the History of Industrial Metabolism, Perspectives on Industrial Ecology (pp. 35-45). Troyes: Greenleaf Publishing
- Fischer-Kowalski, M. (2011). Analyzing sustainability transitions as a shift between socio-metabolic regimes. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1, 152-159.
- Fischer-Kowalski, M., & Haberl, H. (1997). Tons, Joules and Money: Modes of Production and their Sustainability Problems. *Society and Natural Resources*, 10(1), 61-85.
- Fischer-Kowalski, M., & Haberl, H. (1998). Sustainable Development: Socio-Economic Metabolism and Colonization of Nature. *International Social Science Journal*, 158(4), 573-587.
- Fischer-Kowalski, M., & Haberl, H. (2007). *Socioecological Transitions and Global Change Trajectories of Social Metabolism and Land Use*. Cheltenham, UK, Northampton, USA: Edward Elgar Publishing.

- Fischer-Kowalski, M., & Hüttler, W. (1999). Society's Metabolism, The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part II, 1970-1998. *Journal of Industrial Ecology*, 2(4), 107-136.
- Fischer-Kowalski, M., Singh, S., Ringhofer, L., Grünbühel, C. M., Lauk, C., & Remesch, A. (2010). *Sociometabolic regimes in indigenous communities and the crucial role of working time: A comparison of case studies*. Institute of Social Ecology-Klagenfurt University. Viena.
- Fischer-Kowalski, M., & Weisz, H. (1999). *Society as hybrid between material and symbolic realms toward a theoretical framework of society-nature interactions* (Vol. 8).
- Folke, C., Jansson, Å., Larsson, J., & Costanza, R. (1997). Ecosystem appropriation by cities. *Ambio*, 26, 167-172.
- Forkes, J. (2007). Nitrogen balance for the urban food metabolism of Toronto, Canada. *Resources, Conservation & Recycling*, 52(1), 74-94.
- Foster, J. B. (1999). Marx's Theory of Metabolic Rift: Classical Foundations for Environmental Sociology. *The American Journal of Sociology*, 105(2), 366-405.
- Friends, A., & Raport, D. (1979). *Towards a Comprehensive Framework for Environment Statistics: A Stress Response Approach*. Ottawa, Canada: Statistics Canada.
- Fundación Misión Colombia. (1989). *Historia de Bogotá* (Vol. Colonia). Bogotá: Villegas Editores.
- Gadgil, M., & Guha, R. (1992). *This Fissured Land: An Ecological History Of India*. Berkeley: University of California Press.
- Gandy, M. (2004). Rethinking urban metabolism: water, space and the modern city. *City*, 8(3), 363-379.
- Gandy, M. (2005). Cyborg Urbanization: Complexity and Monstrosity in the Contemporary City. *International Journal of Urban and Regional Research*, 29(1), 26-49.
- García, R. (1994). Interdisciplinarietà y sistemas complejos. In E. Leff (Ed.), *Ciencias Sociales y Formación Ambiental*. México: Gedisa.
- García, R. (2006). *Sistemas Complejos: conceptos, métodos y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona: Ed. Gedisa.
- Gasson, B. (2002). *The ecological footprint of Cape Town: unsustainable resource use and planning implications*. Paper presented at the SAPI International Conference: Planning Africa, Durban South Africa.
- GCRO. (2011). *Metabolic flows and Infrastructure transitions in the Gauteng City-Region*. Gauteng City-Region Observatory. Johannesburg, South Africa.
- Geddes, P. (1885). *An analysis of the principles of economics*. Paper presented at the Royal Society of Edinburgh, Edimburg.
- Georgescu-Roegen, N. (1971). *The entropy law and the economic process*. Cambridge: Harvard University Press.
- Giampetro, M., & Pimentel, D. (1990). Assessment of the energetic of human labor. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 32, 257-272.
- Gingrich, S., Haidvogel, G., & Krausmann, F. (2012). The Danube and Vienna: urban resource use, transport and land use 1800–1910. *Regional Environmental Change*, 12, 283–294.
- Girardet, H. (1992). *The Gaia Atlas of Cities*. London: Gaia Books Limited.
- Glaser, M., Krause, G., Ratter, B., & Welp, M. (2008). Human-Nature-Interaction in the Anthropocene. Potential of Social-Ecological Systems Analysis. *GAIA*, 17(1), 77–80.

- Godelier, M. (1986). *The Mental and the Material: Thought economy and society*. London: Blackwell Verso.
- Gonzales, M. E. (1971). *Estudio sobre la explotación de canteras en el sector de Bogotá*. Ingeniero Industrial, Universidad de los Andes, Bogotá.
- Gorree, M., Kleijn, R., & Van der Voet, E. (2000). *Materiaalstromen door Amsterdam*. Amsterdam: Centrum Milieukunde Leiden. Milieudiens Amsterdam.
- Grünbühel, C., Haberl, H., Schandl, H., & Winiwarter, V. (2003). Socioeconomic Metabolism and Colonization of Natural Processes in SangSaeng Village: Material and Energy Flows, Land Use, and Cultural Change in Northeast Thailand. *Human Ecology: An interdisciplinary journal*, 31(1), 53-86.
- Guerrero, E. M., & Guiñirgo, F. (2008). Indicador espacial del metabolismo urbano. Huella Ecológica de la ciudad de Tandil, Argentina. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 9, 31-44.
- Haberl, H., Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Martinez-Alier, J., & Winiwarter, V. (2009). A sociometabolic transition towards sustainability? Challenges for another Great Transformation. *Sustainable Development*, 19, 1-14.
- Haberl, H., Winiwarter, V., Andersson, K., Ayres, K., Boone, C., Castillo, A., . . . Zechmeister, H. (2006). From LTER to LTSE: conceptualizing the socioeconomic dimension of long-term socioecological research. *Ecology and Society*, 11(2).
- Hall, M. (2011). A preliminary assessment of socio-ecological metabolism for three neighborhoods within a rust belt urban ecosystem. *Ecological Modelling*, 223(1), 20-31.
- Hammen, T. v. d., & Andrade, G. (2003). Estructura ecológica principal para Colombia: Primera aproximación Informe Final (pp. 70). Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM y Fundación para la conservación del patrimonio natural Biocolombia.
- Hammer, M., & Giljum, S. (2006). *Materialflussanalyse der Regionen Hamburg, Wien und Leipzig. (Material flow analysis of the regions of Hamburg, Vienna and Leipzig)* NEDS Working Papers #6. Hamburg, Germany.
- Hammer, M., S., Giljum, S., & Hinterberger, F. (2003). *Material flow analysis of the city of Hamburg: Preliminary results*. Paper presented at the Quo vadis MFA? Material Flow Analysis—Where Do We Go? Issues, Trends and Perspectives of Research for Sustainable Resource Use, Wuppertal, Germany.
- Hanya, T., & Ambe, Y. (1976). A study on the metabolism of cities. *En: Science for a Better Environment* (pp. 228-233). Tokyo: HSEC, Science Council of Japan.
- Hayward, T. (1994). *Ecological Thought: An introduction*. Cambridge: Polity Press.
- Hendriks, C., Obernosterer, R., Müller, D., Kytzia, S., Baccini, P., & Brunner, P. (2000). Material Flow Analysis: A tool to support environmental policy decision making. Case-studies on the city of Vienna and Swiss lowlands. *Local Environment*, 5(3), 311-328.
- Hermanowicz, S. W., & Asano, T. (1999). Abel Wolman's the metabolism of cities' revisited: a case for water recycling. *Water Science & Technology* 40(4), 29-36.
- Heynen, N., Kaika, M., & Swyngedouw, E. (2006). *In the Nature of Cities Urban political ecology and the politics of urban metabolism*. New York: Routledge.
- Holling, C. (2001). Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. *Ecosystems*, 4, 390-405.
- Hoselitz, B. F. (1955). Generative and Parasitic Cities. *Economic Development and Cultural Change*, 3(3), 278-294.

- Huang, S.-L., & Hsu, W.-L. (2003). Materials flow analysis and energy evaluation of Taipei's urban construction. *Landscape and Urban Planning*, 63(2), 61-74.
- Huang, S. (1998). Urban ecosystems, energetic hierarchies, and ecological economics of Taipei metropolis. *Journal of Environmental Management*, 52, 39-51.
- Idrus, S., Hadi, A., Harman, A., & Mohamed, A. (2008). *Spatial urban metabolism for livable city*. Paper presented at the Blue prints for sustainable infrastructure conference, Auckland, New Zealand.
- Instituto Geográfico Militar y Catastral (Cartographer). (1946). Carta preliminar - Usaquén.
- Instituto Nacional de los Recursos Naturales Renovables. (1976). *Acuerdo 30 de 1976* Bogotá: INDERENA.
- Jiménez, F. (2009). Hacia la consolidación del territorio urbano del Distrito Capital de Bogotá. *Revista de ingeniería, Universidad de los Andes*, 29, 96-99.
- Jiménez, L. C. (2005). *Crecimiento de Bogotá D.C., 1890-1998*. Trabajos de Docentes. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- Jiménez, L. M. (2011). *Unas montañas al servicio de Bogotá Imaginarios de naturaleza en la reforestación de los cerros orientales, 1899-1924*. Historiador, Universidad de los Andes, Bogotá D.C.
- K'Akumu, O. A. (2007). Sustain no city: An ecological conceptualization of urban development. *City*, 11(2), 221-228.
- Kane, M., & Erickson, J. (2007). Urban Metabolism and Payment for Ecosystem Services: History and Policy Analysis of the New York City Water Supply. In J. Erickson, F. Messner & I. Ring (Eds.), *Ecological Economics of Sustainable Watershed Management* (Vol. 7, pp. 307-328): Emerald Group Publishing Limited.
- Keene, D. (2012). Medieval London and its supply hinterlands. *Regional Environmental Change*, 12, 263-281.
- Kennedy, C., Cuddihy, J., & Engel-Yan, J. (2007). The Changing Metabolism of Cities. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2), 43-59.
- Kennedy, C., Pincetl, S., & Bunje, P. (2011). The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental Pollution*, 159, 1965-1973.
- Kim, E., & Barles, S. (2012). The energy consumption of Paris and its supply areas from the eighteenth century to the present. *Regional Environmental Change*, 12, 295-310.
- Kleijn, R., Bringezu, S., Fischer-Kowalski, M., & Palm, V. (1998). Ecologizing Societal Metabolism Designing Scenarios for Sustainable Materials Management (Vol. CML report 148 - Section Substances & Products). Amsterdam: Centre of Environmental Science (CML), Leiden University.
- Latouche, S. (2003). *Decrecimiento y posdesarrollo. El pensamiento creativo contra la economía del absurdo*. Madrid: El Viejo Topo.
- Leff, E. (2000). *La complejidad ambiental*. México D.F: Siglo XXI Editores.
- Lennox, J., & Turner, G. (2004). State of the environment report on human settlements: stocks and flows indicators. *Technical report CSIRO Sustainable Ecosystems*. Australia: Australian State of the Environment Committee.
- Lestel, L. (2012). Non-ferrous metals (Pb, Cu, Zn) needs and city development: the Paris example (1815-2009). *Regional Environmental Change*, 12, 311-323.
- Liang, S., & Zhang, T. (2011). Urban Metabolism in China Achieving Dematerialization and Decarbonization in Suzhou. *Journal of Industrial Ecology*, 15(3), 420-434.
- Liebig, J. v. (1842). *Animal Chemistry or Organic Chemistry in its Application to Physiology and Pathology*. New York: Johnson Reprint.

- Liu, Y., Wang, W., Li, X., & Zhang, G. (2010). Eco-efficiency of urban material metabolism: a case study in Xiamen, China. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 17(2), 142-148.
- Lopez, E., Camacho, J., & Garcia, J. (1975). *Agregados para concreto en la Sabana de Bogotá*. Ingenieros Civiles, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Loreto, R. (2012). Metabolismo y riesgo hídrico *Ciudad y naturaleza. Tensiones ambientales en Latinoamérica, siglos XVIII-XXI*. Puebla: Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades "Alfonso Vélaz Pliego", BUAP.
- Lotka, A. (1921). *Note on the Economic Conversion factors of energy*. Paper presented at the National Academy of Science.
- Lotka, A. (1925). *Elements of physical biology*. Baltimore: Williams and Wilkins.
- Maclaren, V. (1996). *Developing Indicators of Urban Sustainability: A Focus on the Canadian Experience*. Toronto: ICURR Press.
- Marquez, G., & Valenzuela, E. (2008). Estructura ecológica y ordenamiento territorial ambiental. *Gestión y ambiente*, 11(2), 137-148.
- Marsh, G. P. (1864). *Man and nature; or, Physical geography as modified by human action*. New York: Scribners and Sampson Low.
- Martínez-Alier, J. (1987). *Economía Ecológica*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Martínez-Alier, J. (2004). *Marxism, Social Metabolism, and ecologically unequal exchange* Lund University. Lund.
- Martínez-Alier, J. (2009). Social Metabolism, Ecological Distribution Conflicts, and Languages of Valuation. *Capitalism Nature Socialism*, 20(1), 58-87.
- Martínez-Alier, J., & Schulpman, K. (1992). *La Ecología y la Economía*. Mexico: Fondo de Cultura Económica.
- Martínez, C. (1978). *Bogotá reseñada por cronistas y viajeros*. Bogotá: Fondo Editores.
- Marulla, J., Pinob, J., Tello, E., & Cordobillaa, M. J. (2010). Social metabolism, landscape change and land-use planning in the Barcelona Metropolitan Region. *Land Use Policy*, 27, 497-510.
- Marx, K., & Engels, F. (1890). *Das Kapital* (4 ed. Vol. I). Hamburg: Meissner.
- Mayer, J. R. (1845). *Die organische Bewegung in ihrem Zusammenhang mid dem Stoffwechsel*. Heilbronn.
- Meadows, D., Meadows, D., Randers, J., & Behrens, W. (1972). *Limits to growth*. Boston: MIT Press.
- Mejía, G. (2000). *Los años del cambio: Historia urbana de Bogotá, 1820-1910* (Segunda ed.). Bogotá: CEJA.
- Melaina, M., & Keoleian, G. (2001). *A Framework for Urban Energy Metabolism Studies: An Ann Arbor, Michigan Case Study*. Paper presented at the Science & Culture of Industrial Ecology Conference of the International Society for Industrial Ecology, Leiden, Holland.
- Melosi, M. (1993). The Place of the City in Environmental History. *Environmental History Review*, 17, 1-23.
- Melosi, M. (2010). Humans, Cities, and Nature: How Do Cities Fit in the Material World?. *Journal of Urban History*, 36, 3-21.
- Mendez, R. (1974). *Formas de explotación en las canteras del Norte de Bogotá*. Sociologa, Universidad de la Salle, Bogotá.
- Ministerio de Agricultura de Colombia. (1977). *Resolución Ejecutiva No. 76 de 1977*. Bogotá: Diario Oficial.
- Moleschott, J. (1857). *Der Kreislauf des Lebens. Physiologische Antworten auf Liebig's Chemische Briefe*. Mainz: Victor von Zabern.

- Molina, G. (1997). Guía de árboles DAMA. Bogotá: Tercer Milenio.
- Moore, J., Kissinger, M., & Rees, W. (2013). An urban metabolism and ecological footprint assessment of Metro Vancouver. *Journal of Environmental Management*, 124, 51–61.
- Murtishaw, S., De la Rue, S., Price, L., Masanet, E., & Sathaye, J. (2005). Development of energy balances for the state of California. . San Francisco: California Energy Commission PIER Energy-Related Environmental Research.
- Naredo, J., & Frías, J. (2003). El metabolismo económico de la conurbación madrileña. 1984-2001. *Economía Industrial*, 351, 84-114.
- Naredo, J. M., & Frías, J. (1987). Los flujos de energía, agua, materiales e información en la comunidad de Madrid y sus contrapartidas monetarias. *Pensamiento Iberoamericano*, 12, 275-325.
- Neef, E. (1969). Der Stoffwechsel zwischen Gesellschaft und Natur als geographisches Problem. *Geographische Rundschau*, 21, 453-459.
- Neurath, O. (1925). *Wirtschaftsplan und Naturalrechnung: won der sozialistischen Lebensordnung und wom kommenden Menschen*. Berlin: Laub.
- Newcombe, K. (1977). Nutrient flow in a major urban settlement: Hong Kong. *Human Ecology*, 5(3), 179-208. doi: 10.1007/BF00891277
- Newcombe, K., Kalina, J., & Aston, R. (1978). The metabolism of a city: the case of Hong Kong. *Journal of the Human Environment*, 7, 3-15.
- Newman, P. (1999). Sustainability and cities: extending the metabolism model. *Landscape and Urban Planning*, 44, 219-226.
- Ngo, N. S., & Pataki, D. E. (2008). The energy and mass balance of Los Angeles County. *Urban Ecosystems*, 11, 121-139.
- Nilson, J. (1995). A phosphorus budget for a Swedish municipality. *Journal of Environmental Management*, 45, 243-253.
- Niza, S., Rosado, L., & Ferrao, P. (2009). Methodological Advances in Urban Material Flow Accounting Based on the Lisbon Case Study. *Journal of Industrial Ecology*, 13(3), 384-405.
- Obernosterer, R. (2002). *Urban metal stocks: future problem or future resource? Substance flow and stock analysis as a tool to achieve sustainable development*. Paper presented at the International Conference Regional Cycles: Regional Economy Towards Sustainability, Leipzig, Germany.
- Obernosterer, R., & Brunner, P. (2001). Urban metal management the example of lead. *Journal Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, 1(3-4), 241-253.
- Obernosterer, R., Brunner, P., Daxbeck, H., Gagan, H., Glenck, E., Hendriks, C., . . . Reiner, I. (1998). Materials Accounting as a Tool for Decision Making in Environmental Policy. (Project MAc TEmPo). Case Study Report 1. Urban Metabolism. The City of Vienna. Vienna: European Commission. 4th EC Environmental Research Programme. Research Area III. Economic and Social Aspects of the Environment.
- OCDE. (1991). Environmental Indicators: A Preliminary Set. Paris: OCDE.
- OCDE. (1993). OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews *Environmental Monograph # 83*. Paris: OCDE.
- Odum, E. (1973). *Fundamentals of ecology* (3 ed.). Philadelphia: Saunders.
- Odum, E. (1993). *Ecology and our endangered life-support systems*. Massachusetts: Sinauer Associated Inc.
- Odum, H. T. (1983). *Systems Ecology, an Introduction*. New York: Wiley-Interscience.

- Oliveira, R., Stingel, J., & Berck, D. E. (2011). Uma floresta de vestígios: Metabolismo social e a atividade de carvoneiros nos séculos XIX e XX no Rio de Janeiro, RJ *R. Inter. Interdisc. INTERthesis*, 8(2), 286-315.
- Osorio, J. (2009). *Agua, montañas y ciudad. Los cerros orientales y Bogotá: Abasto de agua y evolución ambiental en el siglo XIX*. Instituto de Estudios Urbanos - Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. Retrieved from http://institutodeestudiosurbanos.info/index.php?option=com_docman&task=doc_details&gid=237&Itemid=18
- Ostwald, W. (1909). *Energetische Grundlagen der Kulturwissenschaft*. Leipzig: Alfred Kröner.
- Ostwald, W. (1912). *Der energetische Imperativ*. Leipzig: Akademische Verlagsges.
- Palacio, G., & Ruiz, M. e. (2008). *Historia ambiental de Bogotá y la Sabana, 1850-2005*. Leticia: Universidad Nacional de Colombia - Instituto Amazónico de Investigaciones IMANI.
- Pares, M., Pou, G., & Terradas, J. (1985). Descubrir el Medí Urba; Ecología d'una ciutat: Barcelona. Barcelona: Centre del Medi Urba, Barcelona.
- Pelaez, B. (1991). *Diagnostico y analisis del estado actual de las canteras localizadas en el distrito especial de Bogotá*. Ingeniera Industrial, Universidad de los Andes, Bogotá.
- Peña, S. J. (1896). Informe de la Comisión Permanente de Aguas. Bogotá: Imprenta Nacional.
- Pérez, A. (2003). La expansión urbana de Bogotá *Territorio y sociedad: El caso del Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Bogotá*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Planeación Ecológica Ltda. (2006). Consultoria lineamientos normativos de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá. Bogotá: CAR.
- Podolinsky, S. (1880). Le socialisme et l'unité des forces physiques. *Revue Socialiste*.
- Pomázi, I., & Szabó, E. (1998). Urban Resource Efficiency: The Case of Budapest. *HUNGARIAN STATISTICAL REVIEW, Special Nummer 12*, 155-173.
- Pomázi, I., & Szabó, E. (2008). *Urban metabolism: The case of Budapest*. Paper presented at the ConAccount 2008 Urban metabolism: measuring the ecological city, Prague, Czech Republic.
- Preciado, J. (2009). Bogotá Región: Crecimiento urbano en la consolidación del territorio metropolitano. 18.
- Preciado, J. L., Robert, & Almanza, C. (2005). *Historia ambiental de Bogotá, siglo XX: elementos históricos para la formulación del medio ambiente urbano*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Presidencia de la República de Colombia. (1954). *Decreto 3463 de 1954*. Bogotá: Diario Oficial.
- Purves, W., Orians, G., & Heller, H. (1992). *Life. The science of biology* (3 ed.). Sunderland, MA: Sinauer.
- Quinn, D., & Fernandez, J. (2007). *Urban Metabolism: Ecologically Sensitive Construction for a Sustainable New Orleans*. Paper presented at the Urban Transformations, Holcim Conference, Massachusetts.
- Reddy, S. (2013). METABOLISM OF MUMBAI- EXPECTATIONS, IMPASSE AND THE NEED FOR A NEW BEGINING. Mumbai: Indira Gandhi Institute of Development Research.
- Ringhofer, L. (2010). *Fishing, Foraging and Farming in the Bolivian Amazon: On a Local Society in Transition*. New York: Springer.

- Rivera, A. (2001). *Análisis del impacto ambiental de la industria extractiva en las localidades de Usaquén Y San Cristóbal*. Geologa, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Royo y Gómez, J. (1941). Las explotaciones de materiales rocosos y el ornato y seguridad para bogotá. Bucaramanga: Ministerio de minas y petroleos.
- Sacher, E. (1881). *Grundzuge einer Mechanik der Gesellschaft*. Jena: Gustav Fischer.
- Sahely, H. R., Dudding, S., & Kennedy, C. A. (2003). Estimating the urban metabolism of Canadian cities: Greater Toronto Area case study. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 30(2), 468-483.
- Sahely, H. R., & Kennedy, C. A. (2007). Integrated systems flow model for quantifying environmental and economic sustainability indicators: case study of the City of Toronto urban water system. *ASCE Journal of Water Resources Planning and Management* 133(6), 550-559.
- Salazar, M. C. (1985). Trabajadores menores de edad en empresas pequeñas de las canteras y chircales de Bogotá. Un estudio de caso. Santa Fé de Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Sanz de Santamaria, C. (1982). *Historia de una gran empresa*. Bogotá Cemento Samper.
- Schandl, H., Grünbühel, C., Haberl, H., & Weisz, H. (2002). *Handbook of Physical Accounting Measuring bio-physical dimensions of socio-economic activities MFA – EFA - HANPP*. Social Ecology Working Paper 73. Department of Social Ecology. Institute for Interdisciplinary Studies at Austrian Universities. Vienna.
- Schmidt, M. (2008). The Sankey Diagram in Energy and Material Flow Management. *Journal of Industrial Ecology*, 12(1), 82–94.
- Schremmer, C., & Stead, D. (2009). *Sustainable urban metabolism for Europe (SUME)*. Paper presented at the World Bank's Fifth Urban Research Symposium, Marseille, France.
- Schulz, N. B. (2007). The direct material inputs into Singapore's development. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2), 117-131.
- Schwann, T. (1839). *Mikroskopische Untersuchungen über die Uebereinstimmung in der Struktur und der dem Thiere Wachstum und Pflanzen*. Berlin.
- SDP. (2011). *21 Monografías de las Localidades. # 1 Usaquén*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá.
- Shaler, N. S. (1905). *Man and the earth*. New York: Duffield and Co.
- Shengsheng, L., Zhang, Y., Yang, Z., Liu, H., & Zhang, J. (2012). Ecological relationship analysis of the urban metabolic system of Beijing, China. *Environmental Pollution*, 170, 169–176.
- Sieferle, R. (1982). *Der unterirdische Wald*. München: Beck.
- Sieferle, R. (1997). *Rückblick auf die Natur: eine Gesichte des Menschen und seiner Umwelt, [Looking back at Nature. A History of Man and his environment]*. Munich: Luchterhand.
- Sieferle, R. (2001). *The subterranean forest Energy systems and the Industrial Revolution*. Cambridge: The White Horse Press.
- Sieferle, R. (2003). Sustainability in a World History Perspective. In B. Benzing & B. Herrmann (Eds.), *Exploitation and overexploitation in societies past and present* (pp. 123–142). Münster: LIT.
- Singh, S., Grünbühel, C., Schandl, H., & Schulz, N. (2001). Social Metabolism and Labour in a Local Context: Changing Environmental Relations on Trinket Island. *Population and Environment*, 23(1), 73-104.

- Singh, S., & Grünbühel, C. (2003). Environmental relations and biophysical transition: The case of Trinket Island. *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography*, 85(4), 191-208.
- Soddy, F. (1912). *Matter and energy*. London: Oxford University Press.
- Soddy, F. (1922). *Cartesian economics: The bearing of physical science upon state stewardship*. London: Hendersons.
- Soddy, F. (1926). *Wealth, virtual wealth, and debt: The solution to the economic paradox*. New York: Allen and Unwin.
- Sörme, L., Bergbäck, B., & Lohm, U. (2001). Century perspective of heavy metal use in urban areas. a case study in Stockholm. *Journal Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, 1(3-4), 197-211.
- Spencer, H. (1862/1880). *First principles*. New York: Burt, A. L.
- Spodek, H. (1975). From "Parasitic" to "Generative": The Transformation of Post-Colonial Cities in India. *The Journal of Interdisciplinary History*, 5(3), 413-443.
- Stanhill, G. (1977). An urban agro-ecosystem: the example of nineteenth-century Paris. *Agro-Ecosystems*, 3, 269-284.
- Stergiouli, M. L., & Hadjibiros, K. (2012). The growing water imprint of Athens (Greece) throughout history. *Regional Environmental Change*, 12, 337-345.
- Stimson, R. J., Western, J. S., Mullins, P. F., & Simpson, R. (1999). Urban metabolism as a framework for investigating quality of life and sustainable development in the Brisbane-Southeast Queensland metro region. In L. L. Yuan, B. Yuen & C. Low (Eds.), *Quality of Life: Critical Issues and Options* (pp. 143-168). Singapore: School of Building and Real Estate, National University of Singapore.
- Suárez, M. (Cartographer). (1999a). Desarrollo urbano zona oriental.
- Suárez, M. (Cartographer). (1999b). Usos del suelo.
- Svidén, J., & Jonsson, A. (2001). Urban metabolism of mercury turnover, emissions and stock in Stockholm 1795-1995. *Journal Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, 1(3-4), 79-196.
- Swaney, D., Santoro, R. L., Howarth, R. W., Hong, B., & Donaghy, K. P. (2012). Historical changes in the food and water supply systems of the New York City Metropolitan Area. *Regional Environmental Change*, 12, 363-380.
- Swyngedouw, E. (1996). The city as a hybrid: On nature, society and cyborg urbanization. *Capitalism Nature Socialism*, 7(2), 65 - 80.
- Swyngedouw, E. (2006). Metabolic urbanization The making of cyborg cities. In N. Heynen, M. Kaika & E. Swyngedouw (Eds.), *In the Nature of Cities*. New York: Routledge.
- Tarr, J. (2002). The metabolism of the urban city. The case of Pittsburg. *Journal of Urban History*, 28, 511-545.
- Tello, E. O., Joan Ramon. (2012). Water consumption in Barcelona and its regional environmental imprint: a long-term history (1717-2008). *Regional Environmental Change*, 12, 347-361.
- Thériault, J., & Laroche, A.-M. (2009). Evaluation of the urban hydrologic metabolism of the Greater Moncton region, New Brunswick. *Canadian Water Resources Journal*, 34(3), 255-268.
- Thomas, W. L. J. (1956). *Man's role in changing the face of the earth*. Chicago: University of Chicago Press.
- Toledo, V. (1981). Intercambio ecológico e intercambio económico en el proceso productivo primario. In E. Leff (Ed.), *Biosociología y Articulación de las Ciencias* (pp. 115-147). México D.F.: UNAM.

- Toledo, V. (2008). Metabolismos rurales: hacia una teoría económico-ecológica de la apropiación de la naturaleza. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 7, 1-26.
- Toledo, V., Alarcón-Cháires, P., & Barón, L. (1999). Estudiar lo rural desde una perspectiva interdisciplinaria: una aproximación al caso de México. *Estudios Agrarios*, 12, 55-90.
- Toledo, V., Alarcón-Cháires, P., & Barón, L. (2002). *La modernización rural de México: un análisis socioecológico*. Mexico D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Toledo, V., & Gonzalez de Molina, M. (2007). El metabolismo Social: Las relaciones entre la sociedad y la naturaleza. In F. Garrido, M. Gonzales de Molina & J. Serrano (Eds.), *El paradigma ecológico en las ciencias sociales*. Barcelona: Editorial Icaria.
- Torres, M. C. (2009). *El alcantarillado de Bogotá 1886 – 1938, institucionalización de un problema ambiental*. Magister en Medio Ambiente y Desarrollo, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Triana, M. (1914). La arborización y las aguas, artículos escritos para Bogotá, pero que son aplicables a otras poblaciones de la república. Santa fe de Bogotá: Casa editorial liberal.
- UNEP. (2003). Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment *Millenium Ecosystem Assessment* (pp. 1-25). London: Island Press.
- UNEP. (2005). Living beyond our means Natural Assets and Human Well-Being *Millenium Ecosystem Assessment*. London: Island Press.
- UNEP. (2007). Global Environment Outlook: Environment for development *GEO*. Nairobi, Kenya: UNEP.
- Vallejo, C., Pérez, M., & Martínez-Alier, J. (2011). Metabolic Profile of the Colombian Economy from 1970 to 2007. *Journal of Industrial Ecology*, 15(2), 245–267.
- Van der Hammen, T. (2003). Plan ambiental de la cuenca alta del Río Bogotá. Análisis y orientaciones para el ordenamiento territorial. Bogotá: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR.
- Villegas editores. (1994). *La Ruta de Humbolt* (Vol. Tomo II Colombia). Bogotá: Villegas editores.
- Villegas editores. (2000). *Cerros de Bogotá*. Bogotá D.C.: Benjamín Villegas & asociados.
- Walker, B., Carpenter, S., Anderies, J., Abel, N., Cumming, G. J., Marco, Lebel, L., . . . Pritchard, R. (2002). Resilience Management in Social-ecological Systems: a Working Hypothesis for a Participatory Approach. *Conservation Ecology*, 6(1), 14.
- Warren-Rhodes, K., & Koenig, A. (2001). Escalating trends in the urban metabolism of Hong Kong: 1971- 1997. *Ambio*, 30(7), 429-438.
- White, L. (1949). Energy and the evolution of culture. *En The science of culture*. New York: Farrar, Straus & Giroux.
- Wiesner, D. (2004). Cronología historica cerros de Bogotá *PLAN ZONAL FRANJA DE ADECUACIÓN O TRANSICIÓN ENTRE LA CIUDAD Y LOS CERROS ORIENTALES*. Bogotá D.C.: Fundación Cerros de Bogotá.
- Wolman, A. (1965). The Metabolism of cities. *Scientific American*, 213(3), 179-190.
- Yan, W., Liu, Y. M., & Huang, X. (2003). The Change of Urban Metabolism and the Effect of Waste Being Created of Shenzhen. *Cities Problem*, 1(1), 4-40.
- Yang, D., Gao, L., Xiao, L., & Wang, R. (2012). Cross-boundary environmental effects of urban household metabolism based on an urban spatial conceptual framework: a comparative case of Xiamen. *Journal of Cleaner Production*, 27, 1–10.

- Yu, S. T., & Huang, X. J. (2005). Studies on Material Metabolism in the Regional System – A Case Study of Nantong City, Jiangsu Province. *Journal of Natural Resources*, 20(2), 212-221.
- Zhang, Y., & Yang, Z. (2007). Eco-efficiency of urban material metabolism: a case study in Shenzhen, China. *Acta Ecologica Sinica*, 27(8), 3124–3131.
- Zhang, Y., Yang, Z., Liu, G., & Yu, X. (2011). Emergy analysis of the urban metabolism of Beijing. *Ecological Modelling*, 222(14), 2377–2384.
- Zhang, Y., Yang, Z., & Yu, X. (2009). Evaluation of urban metabolism based on emergy synthesis: A case study for Beijing (China). *Ecological Modelling*, 220, 1690-1696.
- Zucchetto, J. (1975). Energy, economic theory and mathematical models for combining the systems of man and nature. Case study, the urban region of Miami, Florida. *Ecological Modelling*, 1(4), 241-268.